



UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

TRABAJO FIN DE ESTUDIOS

Título

Modelado y Simulación de Proceso Industrial mediante
Software de Simulación de Sistemas Discretos

Autor/es

DIEGO RUIZ MARÍN

Director/es

Emilio Jiménez Macías y M^a DE LAS MERCEDES PÉREZ DE LA PARTE ,

Facultad

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Titulación

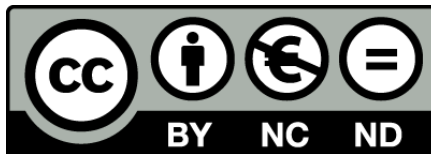
Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Departamento

INGENIERÍA ELÉCTRICA

Curso académico

2018-19



Modelado y Simulación de Proceso Industrial mediante Software de Simulación de Sistemas Discretos, de DIEGO RUIZ MARÍN

(publicada por la Universidad de La Rioja) se difunde bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported.

Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden solicitarse a los titulares del copyright.

© El autor, 2019

© Universidad de La Rioja, 2019

publicaciones.unirioja.es

E-mail: publicaciones@unirioja.es



**UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA**

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO DE FIN DE GRADO

**TITULACIÓN: Grado en
Ingeniería Electrónica Industrial y Automática**

CURSO: 2018/2019

CONVOCATORIA: JULIO

TÍTULO:

**MODELADO Y SIMULACIÓN DE UN PROCESO
INDUSTRIAL MEDIANTE SOFTWARE DE
SIMULACIÓN DE SISTEMAS DISCRETOS**

AUTOR: Diego Ruiz Marín

DIRECTOR/ES: Emilio Jiménez Macías

María De Las Mercedes Pérez De La Parte

DEPARTAMENTO: Ingeniería Eléctrica

MODELADO Y SIMULACIÓN DE PROCESO INDUSTRIAL MEDIANTE SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE SISTEMAS DISCRETOS



Autor: Diego Ruiz Marín
Director/es: Emilio Jiménez Macías
M.^a De Las Mercedes Pérez De La Parte
Fecha: Miércoles, 3 de Julio de 2019
Lugar: Logroño (La Rioja)

RESUMEN

El modelado y simulación de procesos productivos está adquiriendo cada vez más importancia no solo en el ámbito industrial, sino en sectores como el comercio, economía, tácticas militares, etc... debido a la competitividad existente entre las distintas organizaciones, lo que les obliga a analizar sus procesos, buscando los posibles puntos de mejora permitiéndoles cumplir las necesidades y demandas del cliente. Este proyecto analiza y estudia algunos de los softwares de modelado y simulación más utilizados como son Arena, Simio y FlexSim, con el objetivo no solo de ver las características y diferencias entre ellos sino también con el fin de guiar o ayudar a cualquier lector interesado en aprender a utilizar estas herramientas.

Tras analizar y estudiar cada uno de ellos, se opta por utilizar FlexSim para realizar un modelo de la planta Industrial de Cerámicas Sampedro, una planta industrial real de última generación dedicada a la fabricación de ladrillos, en especial una de las mayores empresas en el mundo dedicada a ello. Se realiza el modelo de la planta en FlexSim, se explica la utilidad de cada uno de los objetos utilizados y los parámetros clave correspondientes a cada uno de ellos. Tras realizar el modelo, se llevan a cabo varias simulaciones del proceso modificando los distintos parámetros clave con el fin de identificar las partes de los procesos responsables de atrasos y “cuellos de botella” permitiéndonos analizar las posibles consecuencias en la productividad.

Palabras clave: Simulación, modelado, software, Arena, Simio, FlexSim, cuellos de botella, análisis.

ABSTRACT

The modelling and simulation of production processes is becoming increasingly important not only in the industrial field, but in sectors such as trade, economy, military tactics, etc... due to the existint competition between the different organizations, which forces them to analyze its processes, looking for posible points of improvement allowing them to meet the needs and demans of the client. This project analyzes and studies some of the most used modeling and simulation softwares such as Arena, Simio, and FlexSim, with the aim of not only seeing the characteristics and differences between them but also in order to guide or help any interested reader learn to use these tools.

After analyzing and studying each of them, we chose to use FlexSim to make a modelo f the Industrial Plant of Ceramica Sampedro, a real industrial planto f last generation dedicated to the manufacture of bricks, especially one of the largest companies in the world dedicated to it. The modelo f the plant is made in FlexSim, the usefulness of each of the objects usead and the key parameters corresponding to each of them is explained. After making the model, several simulations of the process are carried out modifying the different key parameters in orde to identify the parts of the processes responsable for delays and “bottlenecks” allowing us to analyze the posible consequences on productivity.

Keywords: Simulation, modeling, software, Arena, Simio, FlexSim, bottlenecks, análisis.

ÍNDICE GENERAL

MEMORIA.....	9
PLIEGO DE CONDICIONES.....	74
MEDICIONES	77
PRESPUESTO	78
BIBLIOGRAFÍA	81

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Etapas de la Simulación.	15
Ilustración 2. Logotipo Arena Software Simulation.	17
Ilustración 3. Proceso de ensamblado de lámparas.	18
Ilustración 4. Interfaz Arena.	19
Ilustración 5. Configuración bloque de entrada.	19
Ilustración 6. Configuración bloque de proceso I.	20
Ilustración 7. Configuración bloque de proceso II.	20
Ilustración 8. Configuración bloque filtro.	21
Ilustración 9. Configuración bloque de salida.	21
Ilustración 10. Proceso completo en simulación.	22
Ilustración 11. Resumen de errores de simulación.	22
Ilustración 12. Logotipo Software Simio.	23
Ilustración 13. Interfaz Software Simio.	24
Ilustración 14. Configuración bloques de entrada.	25
Ilustración 15. Configuración salida server.	25
Ilustración 16. Configuración path I.	26
Ilustración 17. Configuración path II.	26
Ilustración 18. Creación de tablas de datos.	27
Ilustración 19. Configuración server I.	27
Ilustración 20. Configuración server II.	28
Ilustración 21. Configuración salida server lavado.	28
Ilustración 22. Configuración path de salida.	29
Ilustración 23. Proceso en simulación.	29
Ilustración 24. Logotipo Software FlexSim.	30
Ilustración 25. Interfaz Software FlexSim.	30
Ilustración 26. Distribución de la planta.	32
Ilustración 27. Elemento source.	33
Ilustración 28. Elemento queue.	33
Ilustración 29. Elemento combiner.	33
Ilustración 30. Elemento separator.	33
Ilustración 31. Elemento conveyor.	34
Ilustración 32. Elemento robot.	34
Ilustración 33. Elemento CAD.	34

Ilustración 34. Proceso I.	35
Ilustración 35. Proceso II.	35
Ilustración 36. Proceso III.	36
Ilustración 37. Proceso IV.	36
Ilustración 38. Proceso V.	36
Ilustración 39. Proceso VI.	37
Ilustración 40. Proceso VII.	37
Ilustración 41. Proceso VIII.	38
Ilustración 42. Flujo del producto.	38
Ilustración 43. Configuración source ladrillos.	40
Ilustración 44. Configuración source bandejas.	40
Ilustración 45. Configuración queue almacenes.	41
Ilustración 46. Configuración combiner.	41
Ilustración 47. Configuración separator.	42
Ilustración 48. Gráfica producción Conveyor 1.	45
Ilustración 49. Gráfica producción Robot 1.	46
Ilustración 50. Gráfica producción Combiner.	47
Ilustración 51. Gráfica producción Conveyor 3.	49
Ilustración 52. Gráfica producción Conveyor 2.	50
Ilustración 53. Gráfica producción Robot 2.	51
Ilustración 54. Gráfica producción Conveyor 29.	52
Ilustración 55. Gráfica producción Conveyor 28.	54
Ilustración 56. Gráfica producción Conveyor 27.	55
Ilustración 57. Gráfica producción Conveyor 26.	56
Ilustración 58. Gráfica producción Conveyor 25.	58
Ilustración 59. Gráfica producción Robot 3.	59
Ilustración 60. Gráfica producción Conveyor 24.	60
Ilustración 61. Gráfica producción Separator.	62
Ilustración 62. Gráfica producción Conveyor 4.	63
Ilustración 63. Gráfica producción Robot 4.	65
Ilustración 64. Gráfica producción Conveyor 23.	66
Ilustración 65. Estadísticas I. Simulación inicial.	69
Ilustración 66. Estadísticas I. Simulación final.	70
Ilustración 67. Estadísticas II. Simulación inicial.	71
Ilustración 68. Estadísticas II. Simulación final.	71
Ilustración 69. Estadísticas III. Simulación inicial.	72

Ilustración 70. Estadísticas III. Simulación final.	72
--	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas de la Simulación.....	16
Tabla 2. Desventajas de la Simulación.....	16
Tabla 3. Comparación de simuladores.	31
Tabla 4. N° de elementos del modelo.....	34
Tabla 5. Parámetros clave.	43
Tabla 6. Producción 1º y 2º Análisis Conveyor 1.....	44
Tabla 7. Producción 1º y 2º Análisis Robot 1.....	46
Tabla 8. Producción 1º y 2º Análisis Combiner.....	47
Tabla 9. Producción 1º y 2º Análisis Conveyor 3.....	48
Tabla 10. Producción 1º y 2º Análisis Conveyor 2.....	50
Tabla 11. Producción 1º y 2º Análisis Robot 2.....	51
Tabla 12. Producción 1º y 2º Análisis Conveyor 29.....	52
Tabla 13. Producción 1º y 2º Análisis Conveyor 28.....	53
Tabla 14. Producción 1º y 2º Análisis Conveyor 27.....	55
Tabla 15. Producción 1º y 2º Análisis Conveyor 26.....	56
Tabla 16. Producción 1º y 2º Análisis Conveyor 25.....	57
Tabla 17. Producción 1º y 2º Análisis Robot 3.....	59
Tabla 18. Producción 1º y 2º Análisis Conveyor 24.....	60
Tabla 19. Producción 1º y 2º Análisis Separator.....	61
Tabla 20. Producción 1º y 2º Análisis Conveyor 4.....	63
Tabla 21. Producción 1º y 2º Análisis Robot 4.....	64
Tabla 22. Producción 1º y 2º Análisis Conveyor 23.....	66
Tabla 23. Puntos críticos análisis 1º.....	67
Tabla 24. Puntos críticos análisis 2º.....	68

MEMORIA

ÍNDICE DE MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN	11
2. OBJETO Y ALCANCE	11
3. ESTADO DEL ARTE.....	11
4. MARCO TEÓRICO: LA SIMULACIÓN.....	13
4.1 Concepto de simulación.....	13
4.2 Tipos de sistemas	13
4.3 Proceso de simulación	14
4.4 Simulación de procesos industriales.....	15
4.5 Ventajas y desventajas de la simulación.....	16
4.6 Aplicaciones.....	16
4.7 Softwares	17
4.6.1 ARENA.....	17
Ejemplo de aplicación	18
4.6.2 SIMIO.....	23
Ejemplo de aplicación	23
4.6.3 FLEXSIM	30
4.8 Comparación de simuladores	31
5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO INDUSTRIAL.....	32
5.1 Descripción del caso de estudio	32
5.2 Descripción de los objetos del modelo	33
5.3 Construcción del modelo	34
5.4 Conexión de objetos	38
5.5 Configuración de objetos	39
5.6 Simulación, análisis y resultados	42
1 ^{er} análisis	43
5.6.1 Conveyor1	44
5.6.2 Robot1.....	45
5.6.3 Combiner.....	46
5.6.4 Conveyor3.....	48
5.6.5 Conveyor2.....	49
5.6.6 Robot2.....	50
5.6.7 Conveyor29.....	52

5.6.8 Conveyor28	53
5.6.9 Conveyor27	54
5.6.10 Conveyor26	55
5.6.11 Conveyor25	57
5.6.12 Robot3.....	58
5.6.13 Conveyor24	59
5.6.14 Separator	61
5.6.15 Conveyor4.....	62
5.6.16 Robot4.....	63
5.6.17 Conveyor23	65
5.7 Conclusiones	73

1. INTRODUCCIÓN

Para la superación de los créditos correspondientes al Trabajo Fin de Grado, y por consiguiente del título de Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática, se realiza este proyecto con el objetivo de complementar y asentar los conocimientos adquiridos durante el Grado y en concreto en la asignatura de Modelado y Simulación de Sistemas de Producción.

2. OBJETO Y ALCANCE

El objeto de este proyecto es el estudio comparativo entre varios softwares de simulación como son Arena, Simio y FlexSim, destacados dentro del campo de la Simulación. Además, se lleva a cabo la simulación de unos pequeños procesos en Arena, Simio y FlexSim para ver las características propias de dichos softwares, centrándonos especialmente en este último, elegido para desarrollar una simulación de una planta industrial de gran envergadura, como es la planta Industrial de Cerámicas Sampedro, con lo que comprenderemos el funcionamiento de la misma, realizando un posterior análisis del modelo para unas futuras mejoras en la producción. Además, ayudará a los distintos lectores de este trabajo a adquirir un conocimiento general de los distintos softwares de simulación de sistemas discretos utilizados en el presente trabajo.

Para delimitar el alcance del proyecto se establece lo siguiente:

- Al contar con versiones estudiante de los distintos softwares la cantidad de objetos que se pueden incluir es menor que la versión original.
- En la simulación de la fábrica de Cerámicas Sampedro se analiza solo la primera parte, es decir, la correspondiente al secadero, excluyéndose la parte del horno y empaquetado. Esto es debido a la limitación en el número de objetos que ofrece la versión estudiante.
- Las simulaciones se realizan del modo en que el autor ha considerado más sencilla de elaborar.

3. ESTADO DEL ARTE

La ingeniería como se puede ver está inmersa en cualquier proceso productivo de cualquier planta, las cuales necesitan de herramientas para su diseño, control de la producción, resolución de problemas, análisis de puntos de mejora, etc... Si retrocedemos unos años en el tiempo, cuando todavía no se habían conseguido los distintos avances tecnológicos de los que ahora disponemos, las empresas recurrían a las plantas piloto para hacerse una idea del posible funcionamiento que iba a tener su proceso. Una planta piloto es una planta de proceso a escala reducida, con la que se pretendía conseguir obtener información sobre el proceso que iba a desarrollar esa empresa, si era técnica y

económicamente viable y localizar los parámetros óptimos del proceso, para posteriormente llevarlo a acabo a escala industrial.

Estas plantas piloto eran sumamente complicadas y costosas de construir en la mayor parte de los casos, y resultaban muchas veces imprecisas por cálculos erróneos de escala con relación a la planta real.

De modo que a partir de los años 60 y muy paralelamente a la evolución de la Informática fueron apareciendo en el mercado los primeros softwares de simulación de eventos discretos, entre los que destacan GPSS de IBM y el SIMSCRIPT. En los años 80 se produjo la revolución en la informática, y tuvo un impacto muy importante en el mundo de la simulación, de modo que el uso de simuladores se generalizo en prácticamente todos los ámbitos: predicción del tiempo, entrenamiento a pilotos, etc...

En la actualidad los avances en el campo tecnológico nos han permitido el uso de potentes softwares de simulación, los cuales son muy demandados por las distintas empresas para evitar tener que desarrollar plantas piloto, con todas las ventajas que ello conlleva. La cantidad de softwares de simulación es amplia y muy variada, permitiendo la posibilidad de elección en función de nuestras necesidades [1].

Algunos de los más conocidos son FlexSim, Arena, Simio, etc... Los cuales se tratan en el siguiente trabajo, y cuyo fin principal es ver la facilidad que supone simular un proceso industrial real sin necesidad de crear un modelo previo, así como el análisis de los mismo con la detección de posibles cuellos de botella. Con la llegada de la 4ª Revolución Industrial o Industria 4.0 el hecho de crear estos modelos simulados en ordenador, permite como se cuenta mas adelante una gran cantidad de avances, esto también se conoce dentro del ámbito de Industria 4.0 como “fábricas gemelas”.

La cantidad de trabajos de simulación de procesos es tan amplia como los softwares de simulación disponibles. En algunos como Modelización y simulación con SIMIO de procesos industriales y logísticos [2], se simulan distintos procesos con Simio, pero no se ven las distintas ventajas y desventajas que puede tener este software con otros

En otros trabajos como Estudio comparativo de diferentes modelos de simulación de producción con “Simio” y “Arena” [3], se ven las características, ventajas y desventajas entre Arena y Simio, softwares muy útiles y sencillos, pero que mediante los cuales no se podrían realizar modelos 3D tan completos y visuales como los que podríamos hacer con FlexSim por ejemplo.

Por ello en este trabajo, se ha optado por ver las características de los softwares más utilizados, los cuales hemos mencionado anteriormente (Arena, Simio y FlexSim), ver cómo funcionan y simular un proceso a modo de ejemplo en cada uno de ellos. Centrándonos en FlexSim para realizar un proyecto de mayor dimensión, debido a la mayor flexibilidad y versatilidad que ofrece frente a Arena y Simio.

4. MARCO TEÓRICO: LA SIMULACIÓN

4.1 Concepto de simulación

La “simulación” se define como una técnica experimental, capaz de analizar el comportamiento de cualquier sistema que opere en el mundo real, generalmente esta simulación se realiza computacionalmente. Para poder realizarla, necesitaremos el modelo del proceso o sistema con el objetivo de obtener la respuesta de ese sistema.

Prácticamente todos los sistemas o procesos son susceptibles de ser simulados, sin tener en cuenta la complejidad, ámbito o características del mismo, desde un proceso industrial hasta analizar el comportamiento de vuelo de las aves. En todos ellos el software de simulación se encargará de generar los datos estadísticos, los cuales nos permitirán comprender el funcionamiento del sistema, y nos permitirán analizarlo y modificarlo de forma que obtengamos los resultados esperados.

En la actualidad, cada vez son más numerosos y complejos los procesos y sistemas en cualquier sector (servicios, industria...), de modo que la simulación es una herramienta cada vez más valiosa para poder analizar todos estos procesos, debido a su flexibilidad y facilidad para analizar hasta los sistemas más complejos.

La simulación nos permite visualizar de forma progresiva el proceso a simular, facilitando la comprensión tanto a la persona que hace la simulación como a aquellas personas ante las que justificamos los resultados.

Sin embargo, una desventaja es que hay algunos procesos de gran complejidad que pueden llevarnos mucho tiempo el realizar su modelo, de modo que se recurren a simplificaciones. El grado de detalle en los modelos queda a elección del encargado de realizar la simulación, en función de las necesidades e importancia del proceso. También tenemos que tener en cuenta que lo que simulamos es un modelo de un sistema o proceso, de modo que los resultados en la simulación pueden diferir de los resultados reales.

4.2 Tipos de sistemas

Las características del sistema real que se desea estudiar influirán en la simulación, de ahí la importancia de conocer las propiedades del sistema. Por lo tanto, podemos realizar la siguiente clasificación de los tipos de sistemas [4, 5]:

- Sistemas deterministas y estocásticos.

Un sistema se considera determinista cuando no tiene componentes probabilistas o aleatorias. Es decir, un sistema de este tipo estará determinado cuando definamos las condiciones iniciales y la relación existente entre los procesos. En cambio, un sistema estocástico es aquel que tiene algunas de las variables aleatorias. Es decir, cuando realicemos el estudio de este tipo de sistemas solo lo podremos realizar en términos probabilistas.

- Sistemas estáticos y dinámicos.

Un sistema estático es aquel en el que sus variables de estado no varían con el tiempo, en cambio, en un sistema dinámico los valores que toman estas variables evolucionan con el tiempo.

- Sistemas continuos y discretos.

En un sistema continuo las variables cambian de forma continua con el tiempo, en cambio en un sistema discreto el cambio se produce instantáneamente.

4.3 Proceso de simulación

Como se ha comentado anteriormente, para poder realizar una simulación es necesario obtener primero un modelo. Para ello, las etapas [6, 7] o pasos que debemos seguir para realizar un estudio de simulación son:

- a) Definir el sistema.
Consiste en realizar un estudio general del problema, ver las restricciones, los resultados que se esperan obtener, la interacción del sistema con otros sistemas, variables, etc...
- b) Formular el modelo.
Una vez definidos exactamente los resultados que se desean obtener, se define y construye el modelo. Para ello se definen todas las variables, relaciones lógicas y diagramas de flujo que describan de forma completa el modelo.
- c) Colección de datos.
Definir con exactitud los datos que el modelo necesita para obtener los resultados deseados.
- d) Traslación del modelo.
Realizar el modelo en el software elegido para procesarlo y obtener los resultados deseados.
- e) Verificación.
Comprobar que el modelo simulado cumple con las especificaciones de diseño. En este paso si no se cumple deberemos volver a formular el modelo.
- f) Experimentación.
Consiste en simular el comportamiento del modelo modificando los distintos parámetros y viendo cómo responde.

- g) **Análisis e interpretación.**
Consiste en el estudio e interpretación de los datos obtenidos mediante la simulación, y en base a ello tomar una decisión.
- h) **Implantación.**
Llevar a cabo el desarrollo en el entorno real.

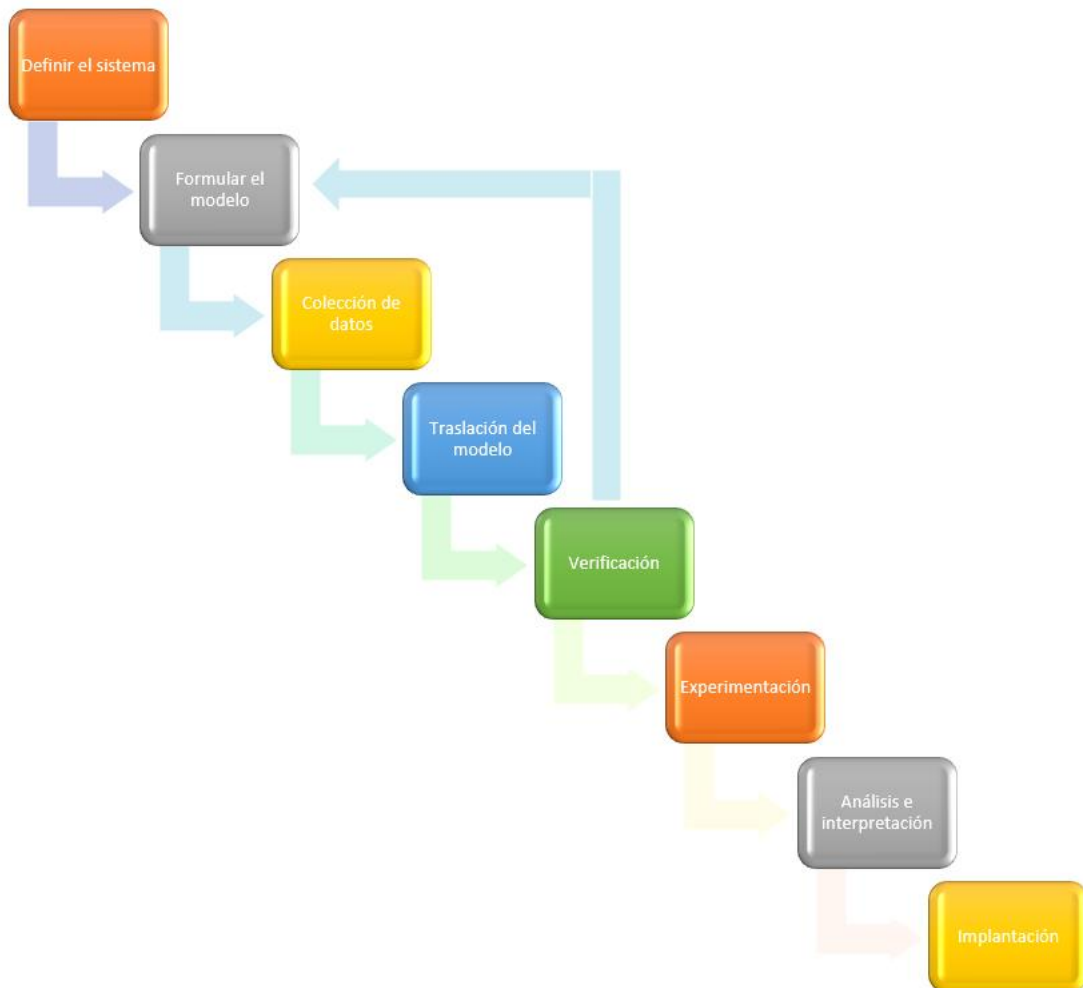


Ilustración 1. Etapas de la Simulación.

4.4 Simulación de procesos industriales

En los últimos años se ha producido un gran desarrollo tanto del hardware como del software en las computadoras, lo que ha producido una gran influencia en todos los sectores, especialmente y en relación con este trabajo, en el sector industrial.

Este hecho ha llevado una evolución en la misma medida de los softwares de simulación de procesos industriales, usados muy frecuentemente por varias ventajas [6, 8, 9] que se enumeran a continuación:

- Permite predecir el comportamiento de los sistemas productivos bajo diversas situaciones reales o previsibles (roturas de stock, inexistencia de materias primas).
- Permite analizar las posibles alternativas a la optimización de nuestros sistemas, sin tener que alterar físicamente el mismo.
- Permite saber cómo está operando el sistema, detectando posibles problemas y habilitando un análisis sobre la situación productiva.

4.5 Ventajas y desventajas de la simulación

Se detallan a continuación las ventajas e inconvenientes de la simulación. [10, 11].

Ventajas	Permite realizar el estudio de un sistema de larga duración en un periodo de tiempo pequeño, ya que es un fenómeno que se puede acelerar.
	Permite simular sistemas complejos reales con elementos estocásticos, en los que la descripción mediante modelos matemáticos no sería posible.
	Nos permite probar y comparar distintas alternativas para seleccionar aquella que más se adecue a los objetivos.
	Reduce el riesgo en la toma de decisiones, ya que nos permite comprobar como afectan los cambios en un proceso o instalación.
	No es necesario interrumpir las operaciones en la realidad.
	Es más barato mejorar el sistema de simulación, que el propio sistema real.
	Es más sencillo de visualizar y comprender que los métodos propiamente analíticos.

Tabla 1. Ventajas de la Simulación.

Desventajas	Para modelos estocásticos no bastará con realizar la simulación una sola vez, sino que habrá que realizarla varias veces para obtener una “solución representativa”.
	Si el modelo es muy complejo, la simulación consume gran cantidad de recursos durante un largo tiempo, tanto técnicos como humanos.
	Consume gran cantidad de tiempo en su desarrollo.
	Los resultados obtenidos no son resultados reales, son estimaciones.

Tabla 2. Desventajas de la Simulación.

4.6 Aplicaciones

La simulación es una de las técnicas más usadas para la ayuda a la toma de decisiones en el estudio de sistemas. Se trata de una herramienta usada por muchas empresas por su

utilidad y por la gran variedad de campos de aplicación, como pueden ser: aeronáutico, aeroespacial, medicina, militar, servicios, transporte, industrial, etc...

Algunos ejemplos de aplicación son:

- Procesos empresariales: control de inventarios, diseño de sistemas de colas, de sistemas de distribución...
- Comercio y economía: conducta de los clientes, determinación de precios, predicción económica...
- Sociedad y conducta: evolución de la población, conducta individual y de grupo...
- Sistemas tácticos o de defensa militar.
- Análisis del impacto ambiental causado por diversas fuentes.

4.7 Softwares

4.6.1 ARENA

Arena es un software de simulación de eventos discretos desarrollado por Systems Modelling y adquirido por Rockwell Automation en el año 2000. Utiliza el procesador y lenguaje de simulación SIMAN.



Ilustración 2. Logotipo Arena Simulation Software.

Las características principales son:

- Bloques de construcción predefinidos para modelar el proceso sin necesidad de programación.
- Amplia gama de opciones de distribuciones estadísticas para modelar la variabilidad del proceso.
- Análisis estadístico y generación de informes.
- Posibilidad de ver la simulación en 2D y 3D.

Ventajas de implementarlo:

- Explorar nuevos procedimientos sin interrumpir el sistema actual.

- Diagnosticar y solucionar problemas.
- Reducir o eliminar cuellos de botella.
- Reducir el riesgo en grandes inversiones.

Ejemplo de aplicación [12]

Se debe modelar una fase de producción de ensamblado de lámparas de mesa. La estructura de las lámparas tiene una tasa de llegada de 15 cada hora. El proceso consta de dos etapas:

- Etapa 1: se coloca el cableado con una tasa de servicio de 1 cada 4 minutos.
- Etapa 2: se coloca la bombilla a la estructura con una tasa de servicio de 1 cada 2 minutos.

Estadísticamente se sabe que el 25% de los cableados no pasan por el control de calidad, y son devueltos para que inicien el proceso.

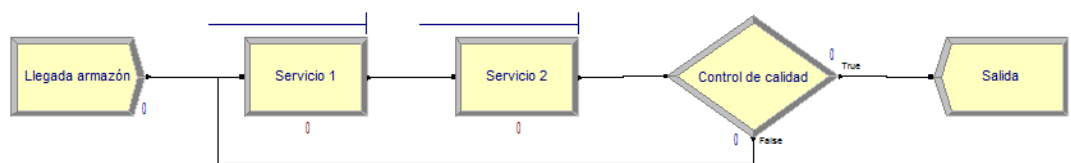


Ilustración 3. Proceso de ensamblado de lámparas.

El modelo del proceso se puede ver en la Ilustración 3, donde posteriormente veremos cómo se ha configurado cada elemento. Pero antes de explicar cómo se ha realizado y configurado el modelo veremos cómo es la interfaz del software Arena (Ilustración 4).

Como se puede ver, está dividida en cuatro bloques:

- Barras de navegación y ajustes: tenemos los iconos que tiene cualquier software para guardar el proyecto, crear uno nuevo, abrir, así como los botones para iniciar, parar y acelerar la simulación.
- Módulos: tenemos toda la biblioteca de objetos para crear los modelos.
- Ventana del Modelo (gráfico de flujo): será la parte donde crearemos nuestro modelo del proceso.
- Ventana del Modelo (hoja de cálculo): cuando tengamos pulsado un objeto, nos mostrará la configuración del mismo.

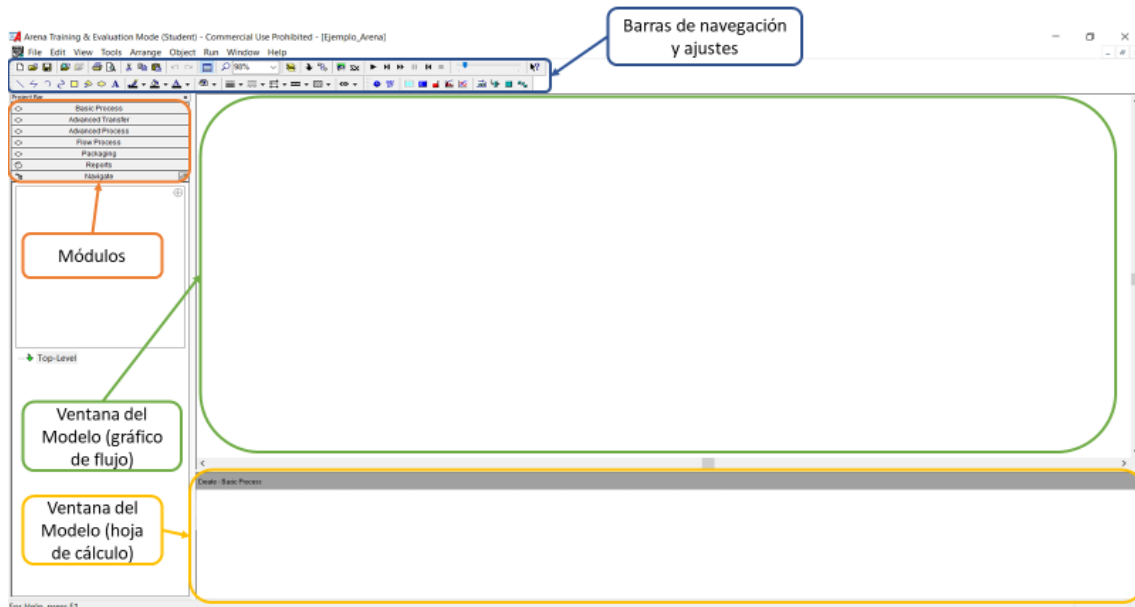


Ilustración 4. Interfaz Arena.

Para este modelo se han utilizado los elementos que tenemos en la biblioteca de “procesos básicos”. Para la llegada de los armazones utilizaremos un bloque de entrada, con la configuración mostrada en la imagen. Como ya sabemos la llegada de la estructura de las lámparas tiene una tasa de llegada de 15 cada hora.

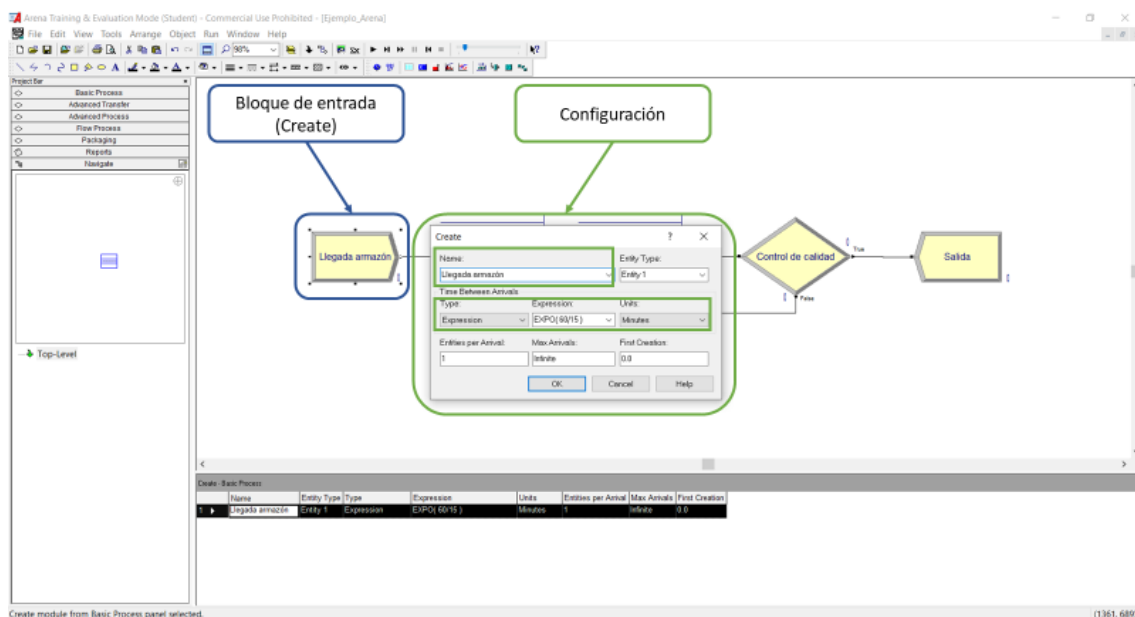


Ilustración 5. Configuración bloque de entrada.

Para los distintos servicios, utilizaremos los bloques de procesos, con las configuraciones requeridas para satisfacer las especificaciones de diseño. En estos bloques de proceso además de poner el tipo de expresión como en el caso anterior, deberemos seleccionar el tipo de acción:

- Delay: utiliza un recurso durante un tiempo.

- Seize Delay: reserva un recurso y lo utiliza durante un tiempo.
- Seize Delay Release: reserva un recurso, lo utiliza durante un tiempo y lo libera.
- Delay Release: Utiliza un recurso durante un tiempo y lo libera.

En este caso utilizaremos Seize Delay Release [13, 14].

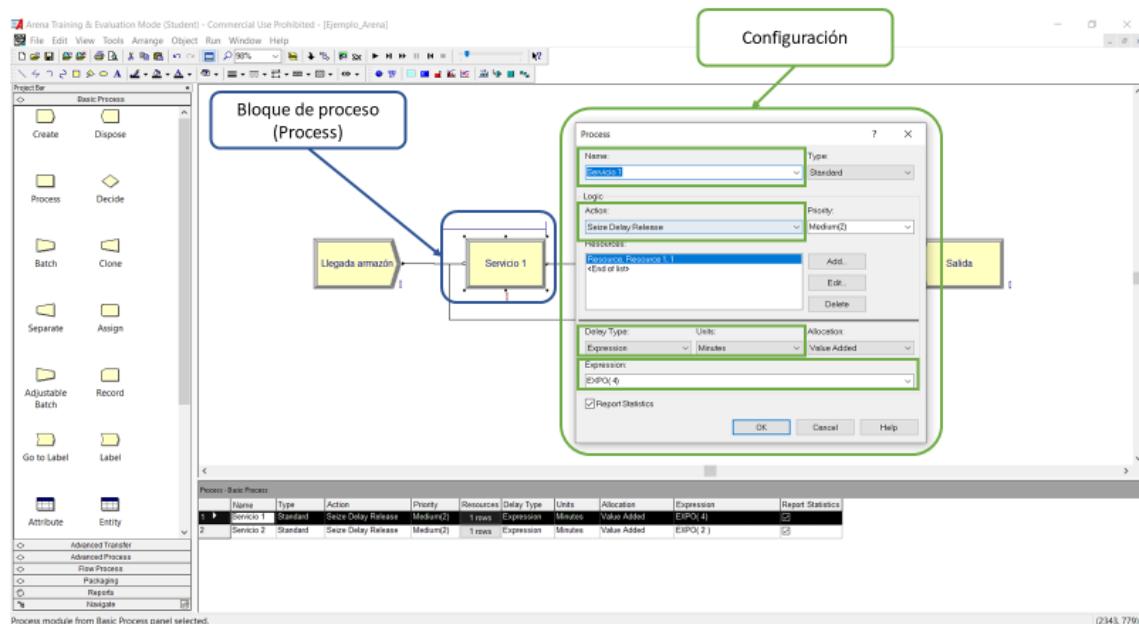


Ilustración 6. Configuración bloque de proceso I.

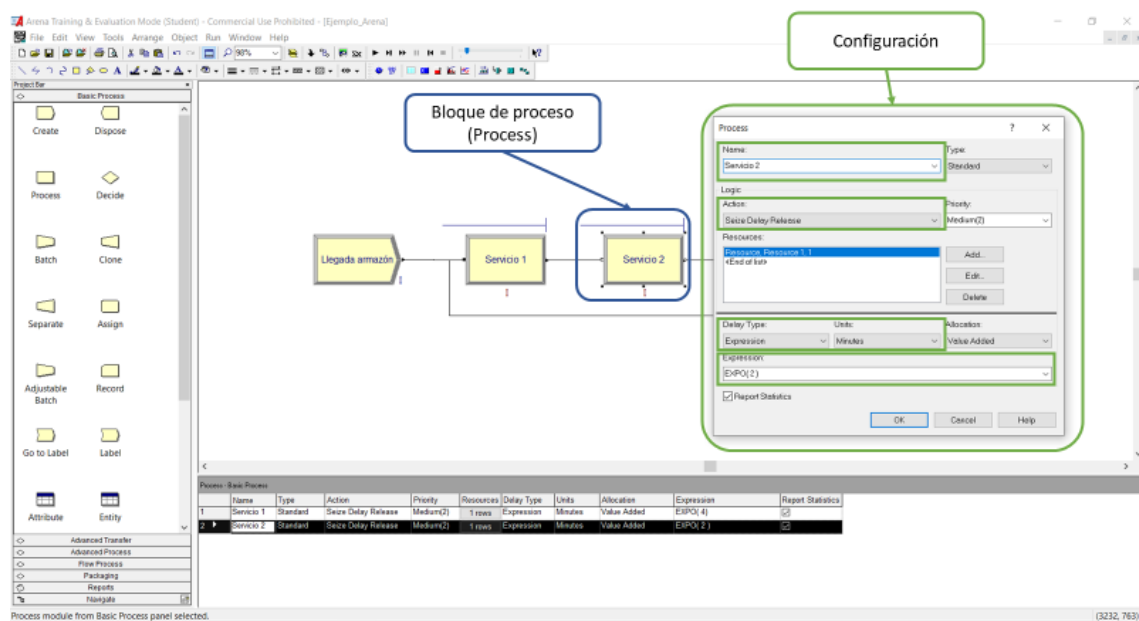


Ilustración 7. Configuración bloque de proceso II.

Como sabemos que el 25% de los productos no pasan el control de calidad, utilizaremos un bloque selector, que actúa como un filtro. Tal y como está para configurar este filtro, ponemos que el 75% pasan el control.

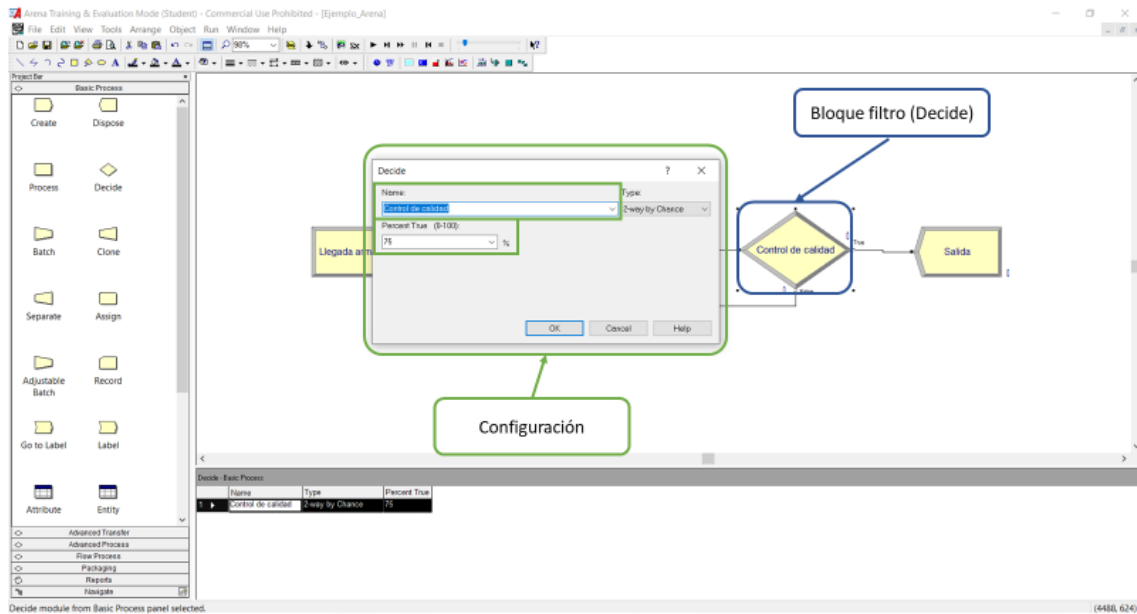


Ilustración 8. Configuración bloque filtro.

Y, por último, tenemos un bloque de salida, donde se producirá la llegada de los elementos.

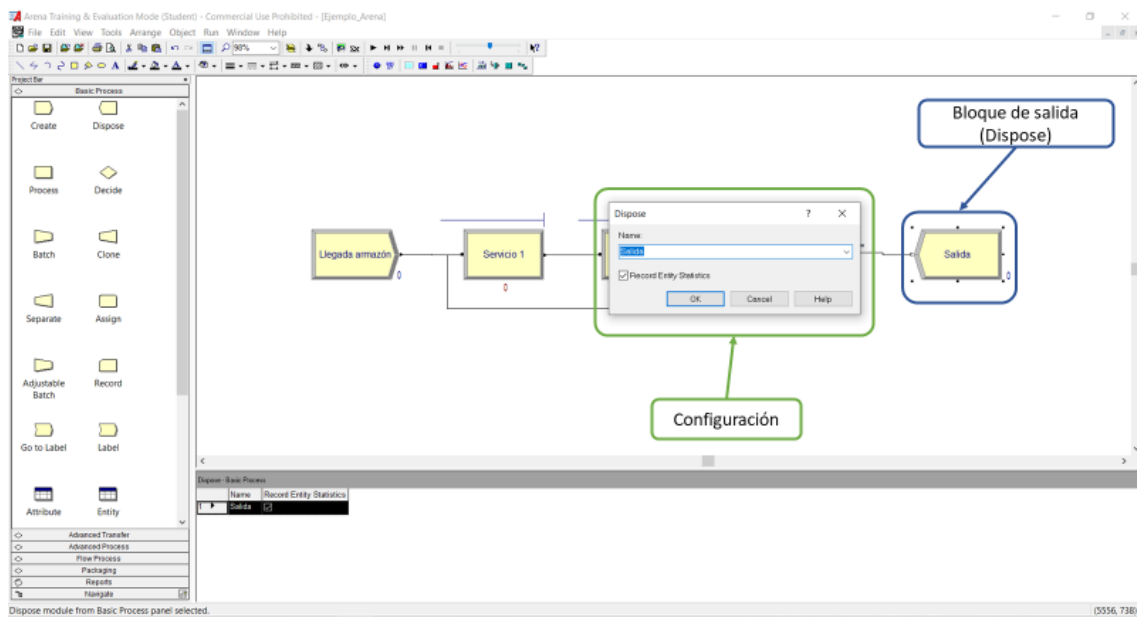


Ilustración 9. Configuración bloque de salida.

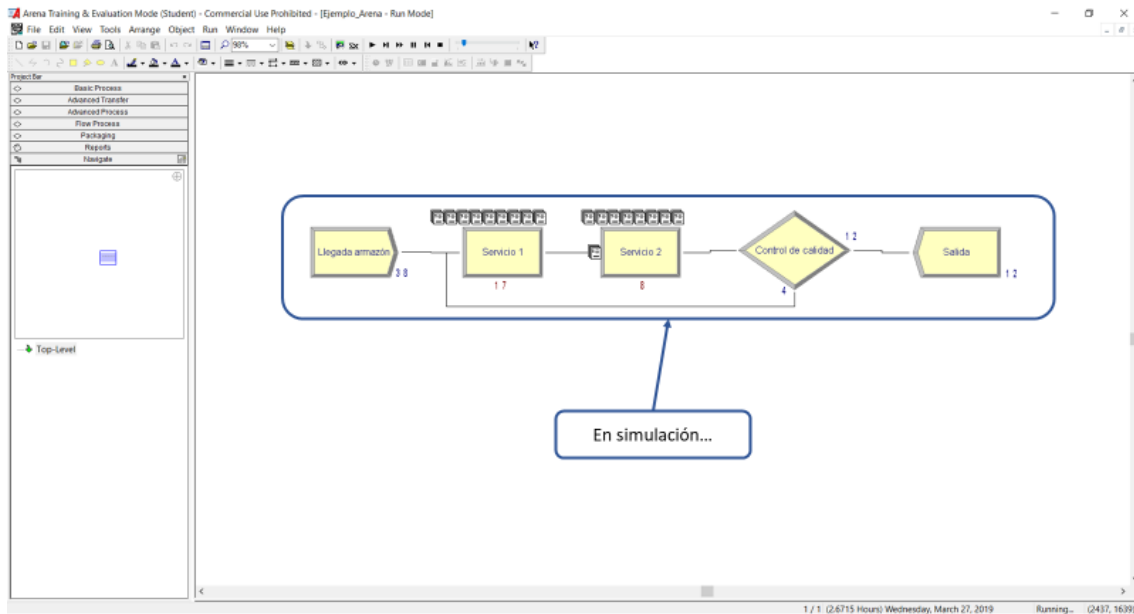


Ilustración 10. Proceso completo en simulación.

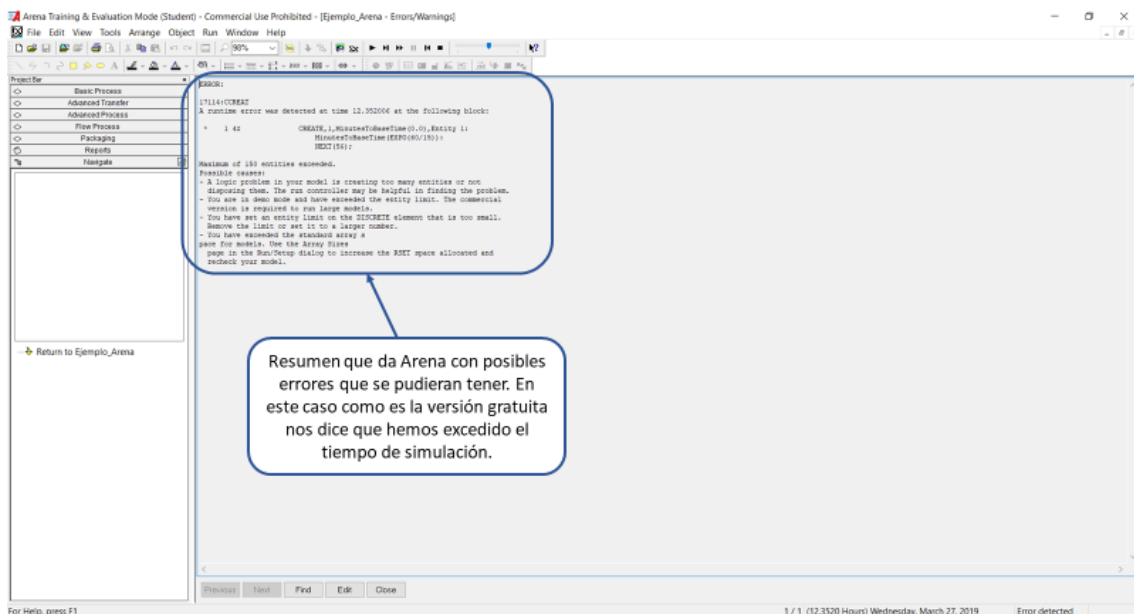


Ilustración 11. Resumen de errores de simulación.

Como hemos visto se trata de un software bastante sencillo e intuitivo de utilizar, y que nos será de gran ayuda para modelar procesos en los que únicamente queramos funcionalidad, en decremento de hacer un modelo visual.

4.6.2 SIMIO

Simio es un software de modelización, simulación y animación 3D procesos de eventos discretos, fundamentado en un estudio mixto objetos-procedimientos. Fue creado por la empresa Simio (Estados Unidos). Para su creación participaron integrantes de Arena y otras industrias, y en la actualidad, cuenta con un equipo propio de desarrolladores.



Ilustración 12. Logotipo Software Simio.

Las características principales son:

- Esta basado en la inteligencia a objetos.
- Dispone de una amplia biblioteca de objetos, sincronizable con la biblioteca de objetos de Google.
- Capacidad de que haya objetos iguales en la misma cadena y cada uno de ellos tenga distinto comportamiento.

Ventajas de implementarlo:

- La tecnología 3D integrada proporciona una mejor impresión visual.
- Moderna interfaz para una mayor productividad.
- Modelización sin necesidad de escribir código gracias a la orientación a objetos.

Ejemplo de aplicación [15]

Se debe modelar un taller de autobuses. Se sabe que la tasa de llegada de los dos tipos que tenemos es:

- Bus normal (Exponencial 15 minutos).
- Bus oruga (Exponencial 25 minutos).

Primeramente, los buses pasan por una zona de inspección, luego por una zona de lavado, y por último por la zona de reparación. De la salida de la inspección, el 20% de los buses va a reparación, y el 80% a lavado.

En el proceso de inspección, tenemos tiempos distintos para cada bus:

- El tiempo de inspección para un bus normal es uniforme entre 6 y 12.

- El tiempo de inspección para un bus oruga es uniforme entre 12 y 18.

En el proceso de lavado:

- El tiempo de lavado para el bus normal tiene una media de 8 y una desviación estándar de 2.
- El tiempo de lavado para el bus oruga tiene una media de 12 y una desviación estándar de 3.

Por último, el tiempo en reparación es el mismo para ambos buses (40 minutos).

Como en el caso explicado anteriormente, veremos en primer lugar en las partes en que se divide el software SIMIO, mostrado en la siguiente imagen (Ilustración 13).

Como vemos la estructura es mas o menos parecida al software Arena, y tiene las siguientes partes:

- Barras de navegación y ajuste: nos servirá para configurar las unidades de medida, configurar hora de inicio/fin, parar, reanudar y acelerar la simulación.
- Ventana de navegación: nos permitirá navegar por los distintos elementos del modelo, así como realizar una configuración de los mismos. Esta ventana es muy útil para procesos muy complejos y con muchos elementos.
- Ventana del modelo: será donde creemos nuestro modelo.
- Librerías: contendrá los distintos elementos y procesos.

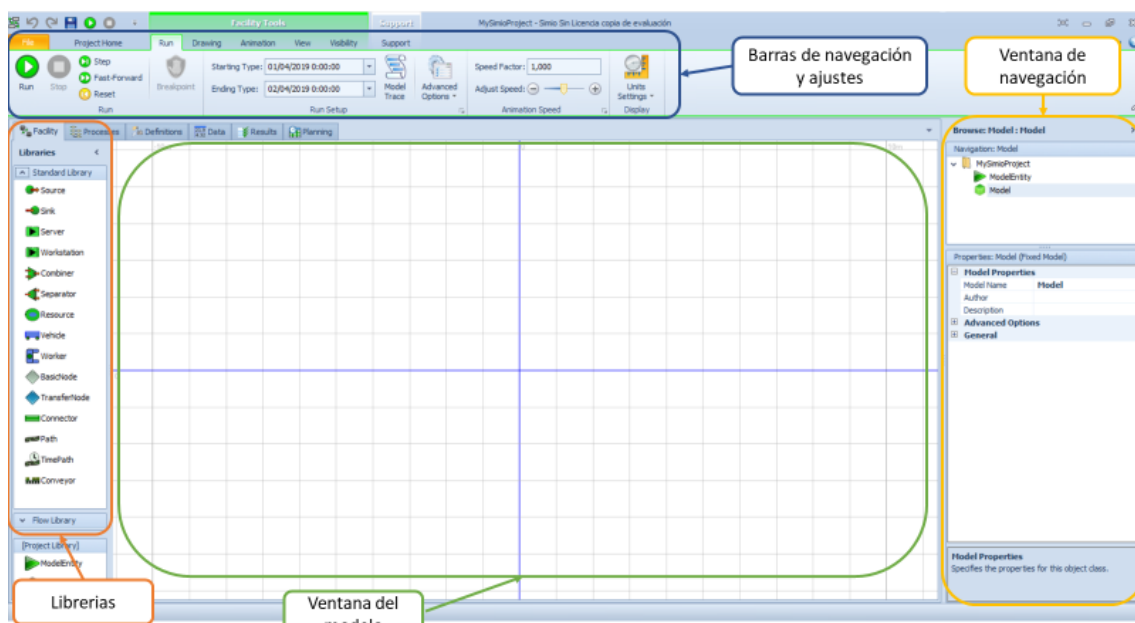


Ilustración 13. Interfaz Software Simio.

Por un lado, simularemos la llegada de buses normales con un bloque de entrada (source), además necesitaremos definir dicho modelo de bus con un Model Entity. En la configuración definiremos el tipo de entidad (Model Entity), el intervalo de llegada según lo mostrado en el enunciado y la fila de la que tiene que coger los datos para este tipo de bus, en este caso la fila 1 para el bus normal. Por otro lado, repetiríamos el mismo proceso para el bus oruga.

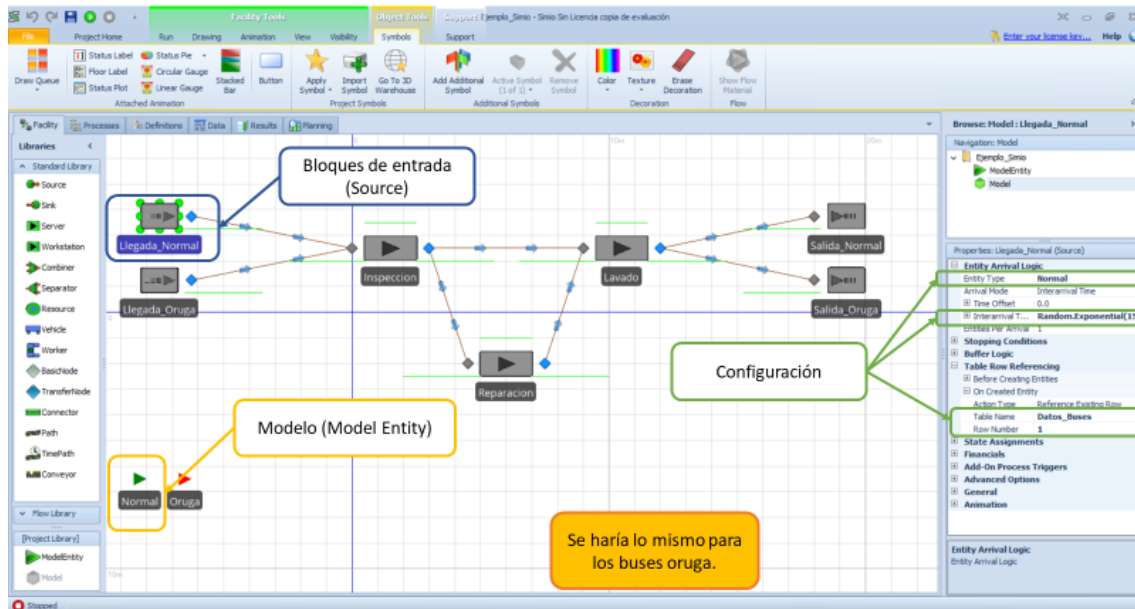


Ilustración 14. Configuración bloques de entrada.

La salida del proceso de inspección la configuraremos mediante Link Weight, que lo que nos hace es en función de los porcentajes dados, elegir el camino por el que debe ir.

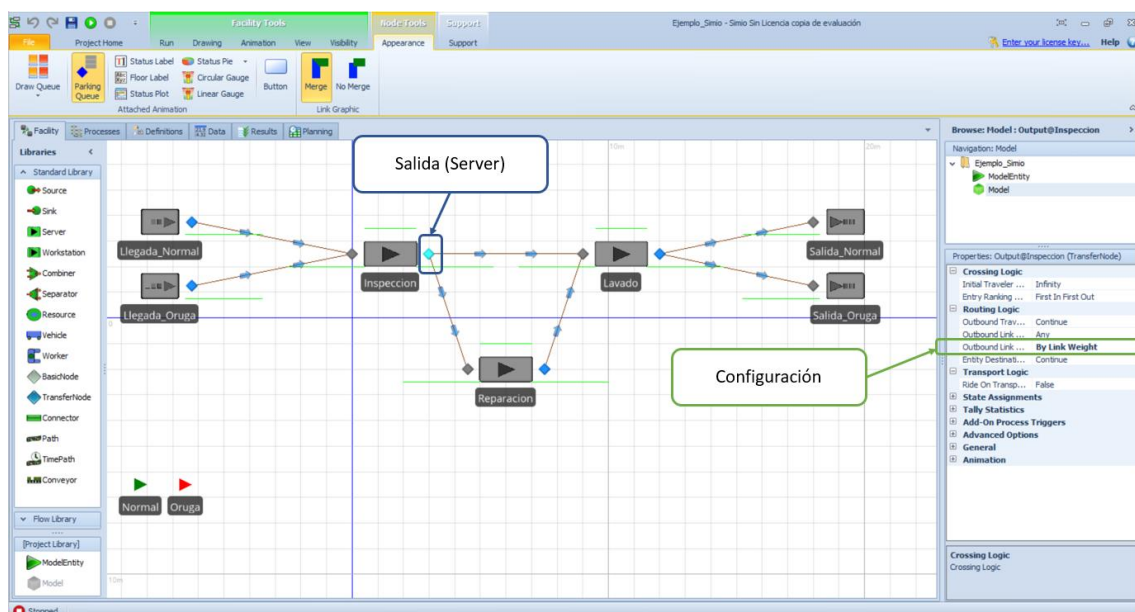


Ilustración 15. Configuración salida server.

Los pesos del % los marcaríamos en el camino (Path).

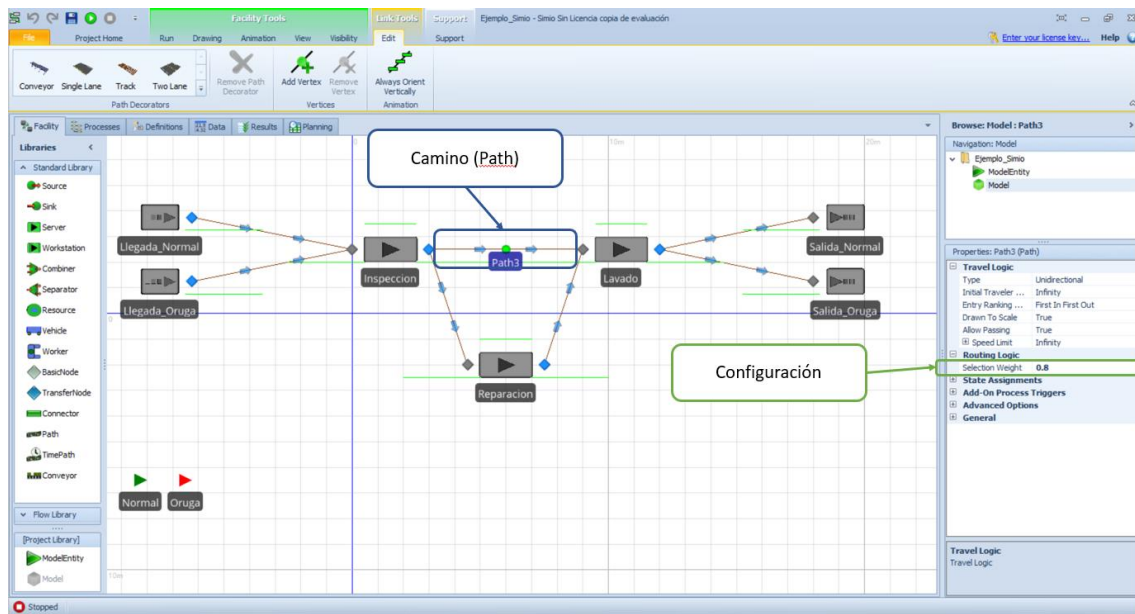


Ilustración 16. Configuración path I.

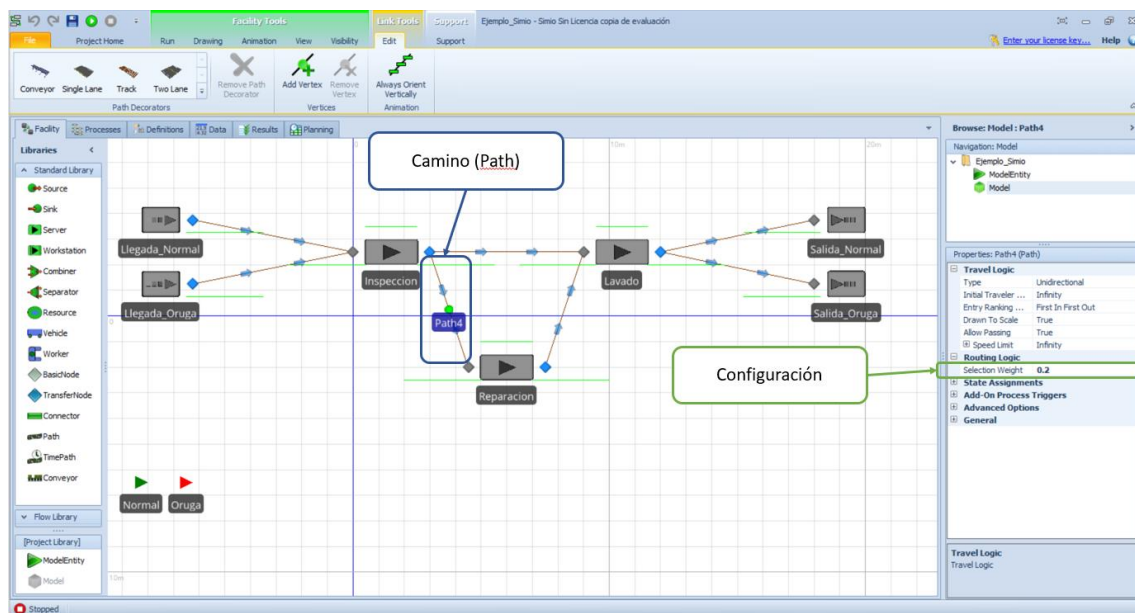


Ilustración 17. Configuración path II.

En la siguiente imagen podemos ver la tabla que hemos creado para diferenciar los tiempos para cada tipo de bus, así como el identificador propio de cada uno.

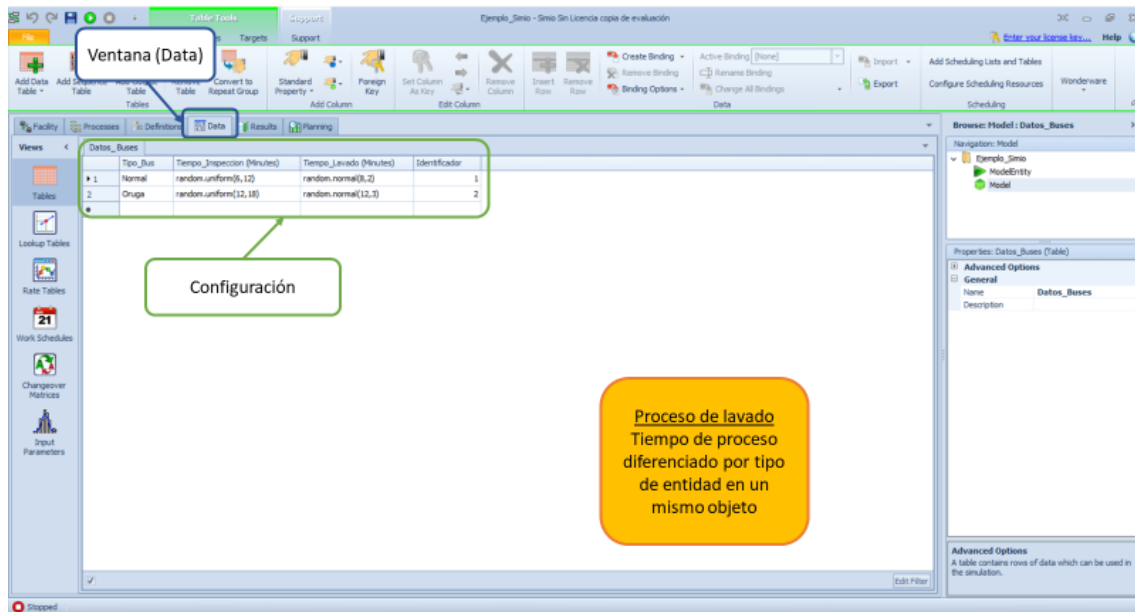


Ilustración 18. Creación de tablas de datos.

Con la tabla creada anteriormente, en la configuración de los tiempos de procesos para cada server, le pondremos la columna en la que tiene que buscar el tiempo en función del tipo de bus que le llegue. Esto que hemos hecho para el tiempo de inspección, lo repetiremos para el tiempo de lavado.

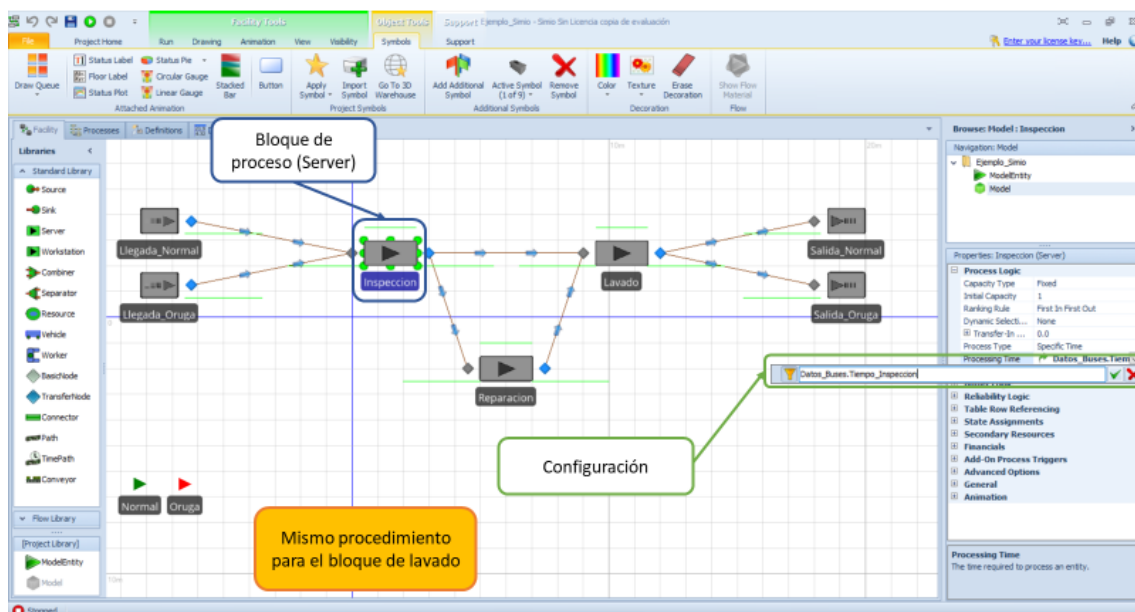


Ilustración 19. Configuración server I.

En el caso del proceso de reparación, el tiempo es el mismo para ambos buses.

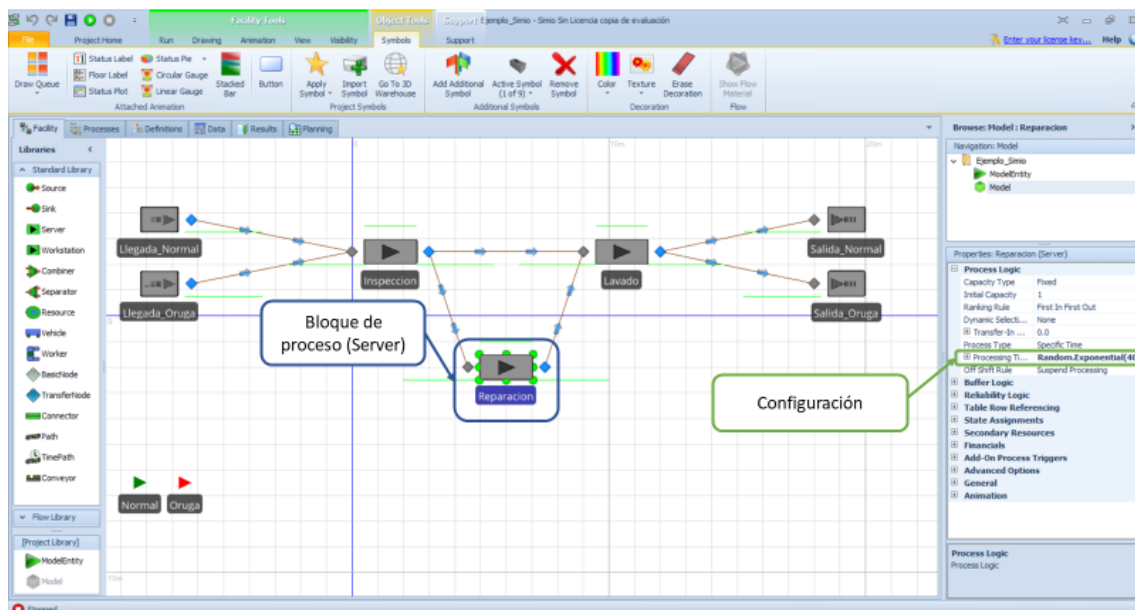


Ilustración 20. Configuración server II.

Por último, tenemos dos bloques de salida, uno para cada tipo de bus. A la salida del proceso de lavado, elegiremos como anteriormente que nos lo separe mediante Link Weight, pero en este caso en vez de usar porcentajes, usaremos el identificador. Identificador=1 para bus normal, e identificador=2 para bus oruga.

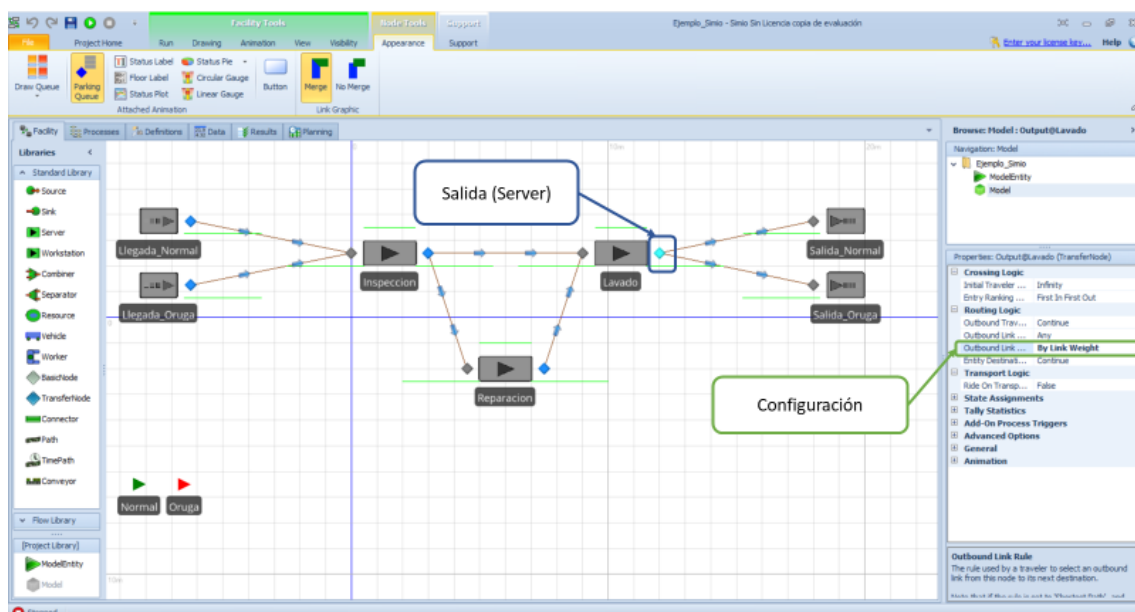


Ilustración 21. Configuración salida server lavado.

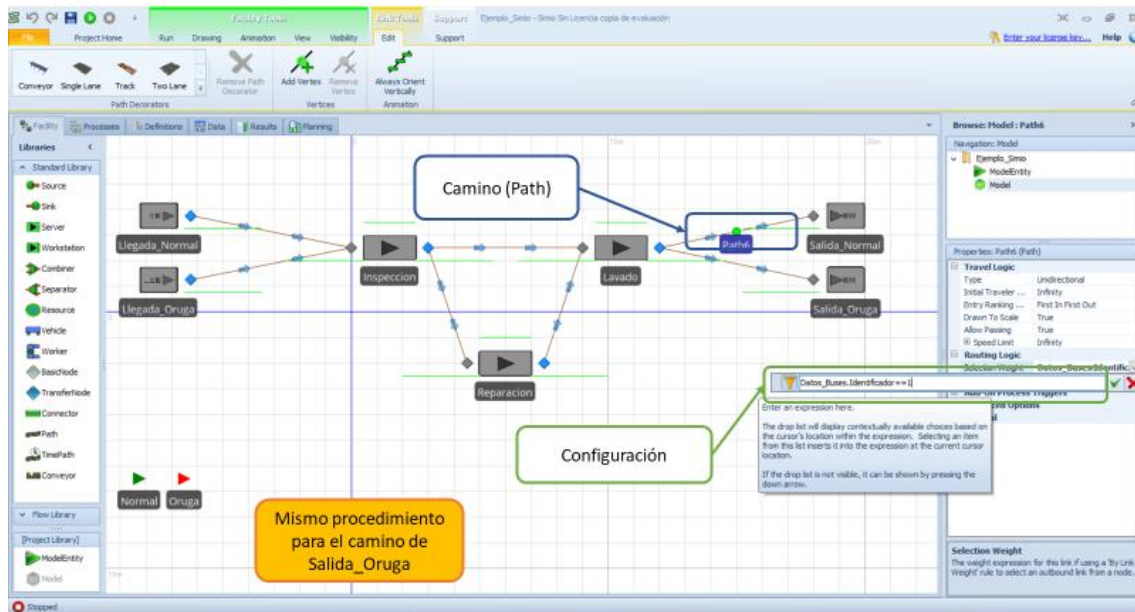


Ilustración 22. Configuración path de salida.

Finalmente, vemos una captura con el proceso en simulación.

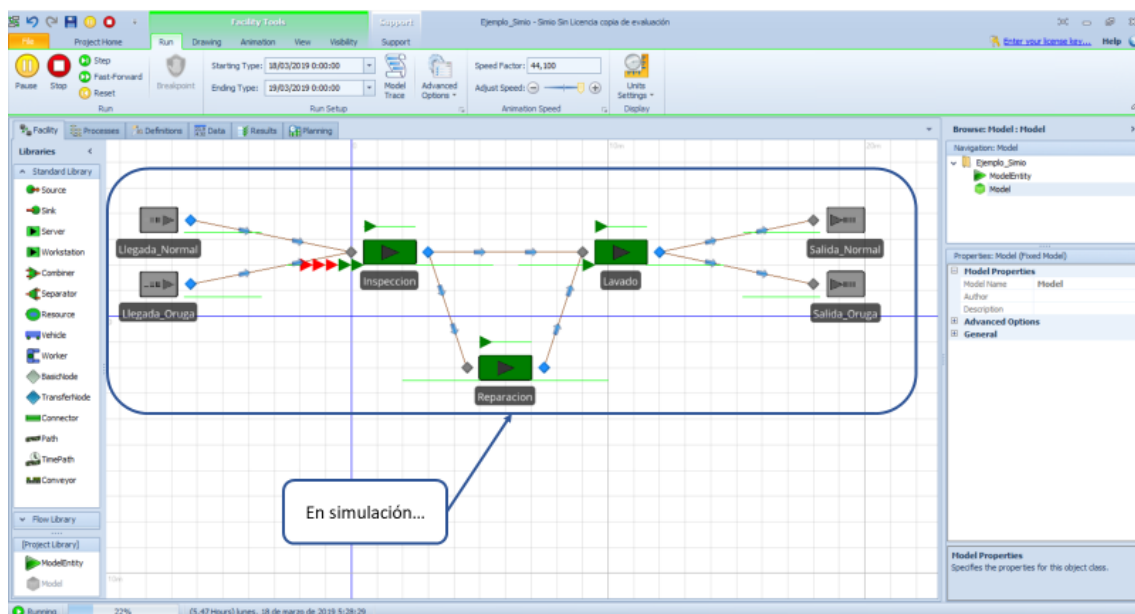


Ilustración 23. Proceso en simulación.

4.6.3 FLEXSIM

Flexsim como el resto de softwares mostrados anteriormente, es un simulador de eventos discretos. Fue fundada en 1993 por Bill Nordgren, Roger Hullinger y Cliff King bajo el nombre de F&H Simulations, Inc. Actualmente tiene su sede en Utah, Estados Unidos.

Además, ha desarrollado un software denominado Flexsim Healthcare, específico para el análisis y optimización de los procesos basados en atención médica al paciente.



Ilustración 24. Logotipo Software FlexSim.

El software FlexSim nos permitirá modelar, analizar, visualizar y optimizar cualquier proceso industrial. Las características principales son:

- Amplia biblioteca de objetos estándar.
- Herramientas de construcción lógica, utilizando muy poco o ningún código de programación.
- Facilidad al construir el modelo arrastrando y soltando los objetos 3D.

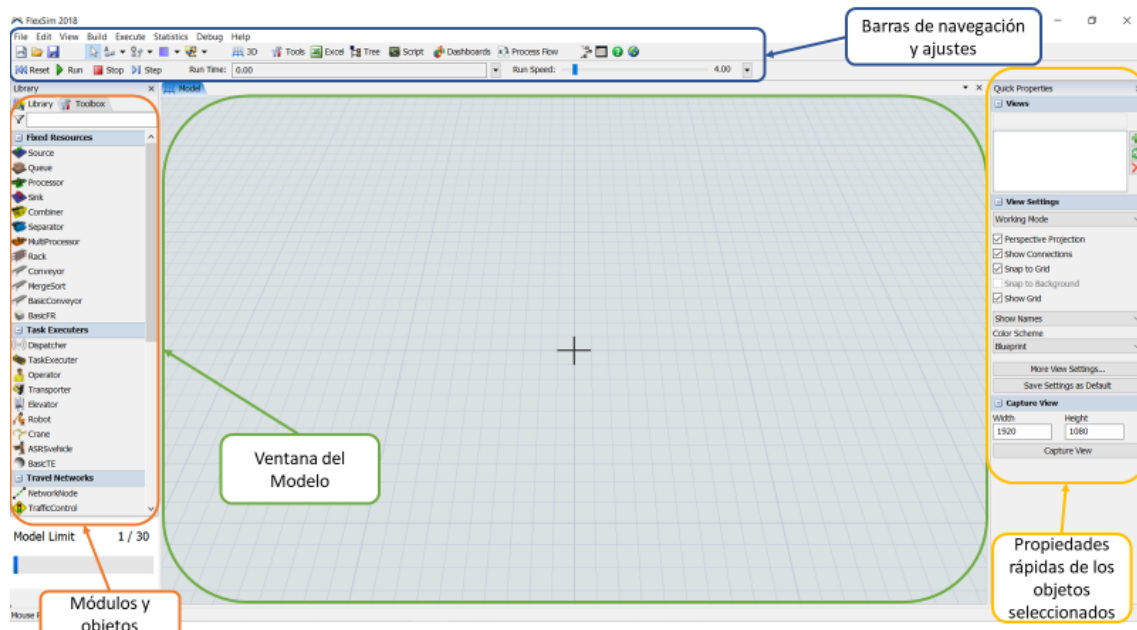


Ilustración 25. Interfaz Software FlexSim.

En la Ilustración 25 podemos ver la interfaz de este software, con una estructura muy similar a los anteriores. En este caso no veremos un ejemplo de aplicación, ya que posteriormente realizaremos un modelo de la fábrica de Cerámicas Sampedro.

4.8 Comparación de simuladores

En este apartado vemos que características tiene cada simulador, lo que nos ayudará a elegir uno en función de las propiedades del proceso a simular. [16]

	Arena	Simio	FlexSim
<i>Modelado basado en agentes (ABM)</i>	✓		
<i>Modelos estocásticos</i>			✓
<i>Modelado por movimiento</i>			✓
<i>Modelado de eventos discretos</i>	✓	✓	✓
<i>Modelado gráfico</i>	✓	✓	✓
<i>Interfaz y modelos visuales 3D</i>			✓

Tabla 3. Comparación de simuladores.

5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO INDUSTRIAL

5.1 Descripción del caso de estudio

En este apartado se comentará el proceso industrial que posteriormente simularemos en el software FlexSim. Se trata de una planta industrial real de última generación dedicada a la fabricación de ladrillos, en especial una de las mayores empresas en el mundo dedicada a ello.

El proceso comienza con el amasado de la arcilla, que posteriormente se conformará en elementos cerámicos. Estos elementos irán por una cinta transportadora y al final de esta un robot irá colocando los elementos en bandejas, cuando llegue al final de la siguiente cinta transportadora otro robot será el encargado de coger la bandeja y llevarla al proceso de secado. En el secadero estos elementos cerámicos pierden parte del agua que contienen. Durante el recorrido por el secadero transcurren por zonas con determinadas características de temperatura, humedad, velocidad del aire, etc...

A la salida del proceso de secado tenemos otro robot cogerá las bandejas y las pasará a otra cinta transportadora donde al final de ella separaremos las bandejas de los elementos cerámicos, un robot será el encargado de coger los ladrillos que los colocará en otra bandeja para pasar por el horno, y posteriormente a la zona de empaquetado. Las bandejas provenientes del proceso de secado se apilarán para su posterior uso. En este modelo y como se ha explicado anteriormente solo llegaremos hasta la separación de los ladrillos y bandejas después del proceso de secado.

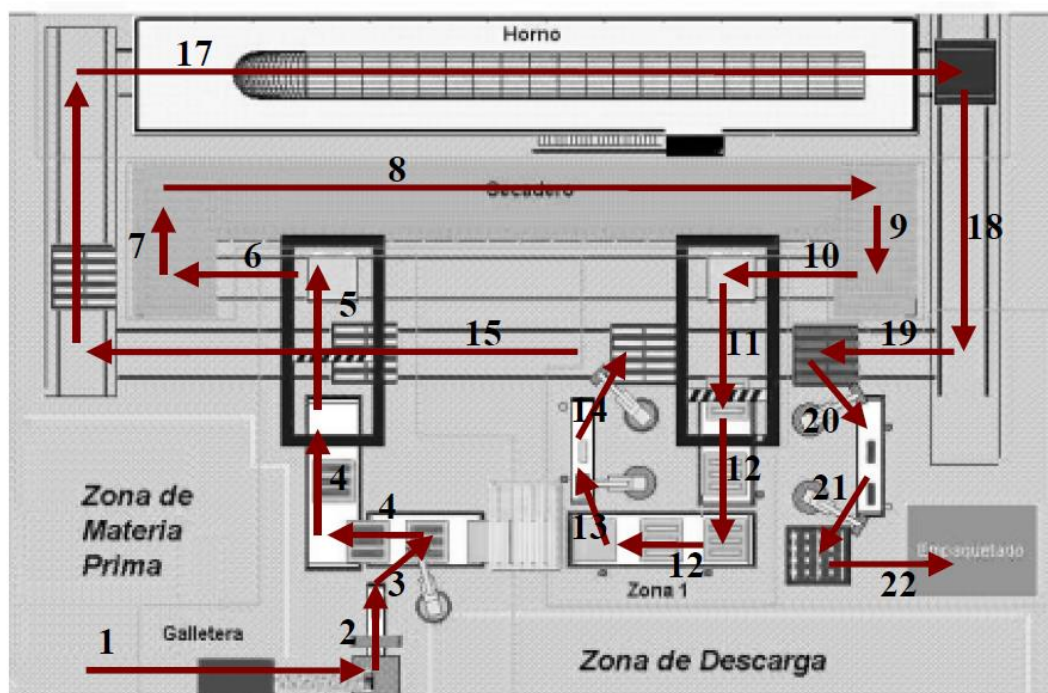


Ilustración 26. Distribución de la planta.

5.2 Descripción de los objetos del modelo

Source: elemento que representa la llegada de la materia prima.

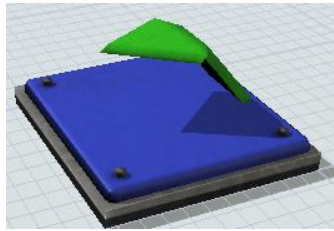


Ilustración 27. Elemento source.

Queue: elemento de almacenamiento.

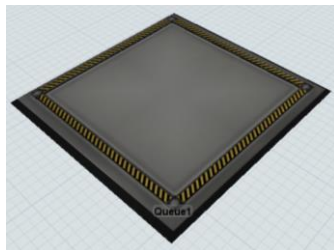


Ilustración 28. Elemento queue.

Combiner: proceso que nos permitirá unir varios productos.

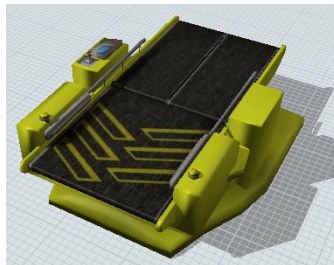


Ilustración 29. Elemento combiner.

Separator: proceso que nos permitirá separar productos.

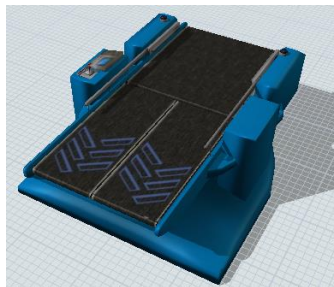


Ilustración 30. Elemento separator.

Conveyor: elemento de transporte de los productos entre varios elementos o procesos.

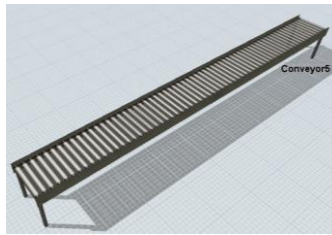


Ilustración 31. Elemento conveyor.

Robot: elemento que nos permitirá trasladar los productos.

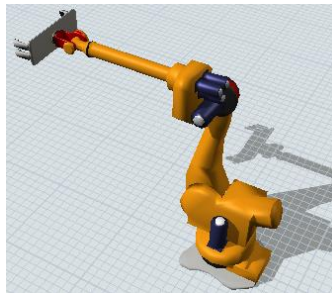


Ilustración 32. Elemento robot.

Objeto CAD: objeto diseñado en 3D para dar realismo al modelo.

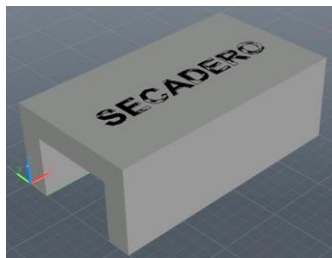


Ilustración 33. Elemento CAD.

5.3 Construcción del modelo

El modelo se empieza creando una nueva hoja de trabajo (New Model). Posteriormente, iremos seleccionando de las librerías los objetos necesarios y arrastrándolos al modelo. En este caso hemos necesitado los siguientes elementos:

Elementos	Unidades
Robots	4
Combiner	1
Separator	1
Source	2
Queue	3
Conveyor	11

Tabla 4. Nº de elementos del modelo.

El proceso comienza con la llegada de los elementos procedentes de la galletera (Source), estos elementos pasarán por un almacén de ladrillos (Queue) que nos permitirá almacenarlos en caso de que se vayan acumulando, y posteriormente irán por una cinta transportadora (Conveyor1).

Las bandejas son creadas por un proceso similar al de los elementos cerámicos (Source y Queue).

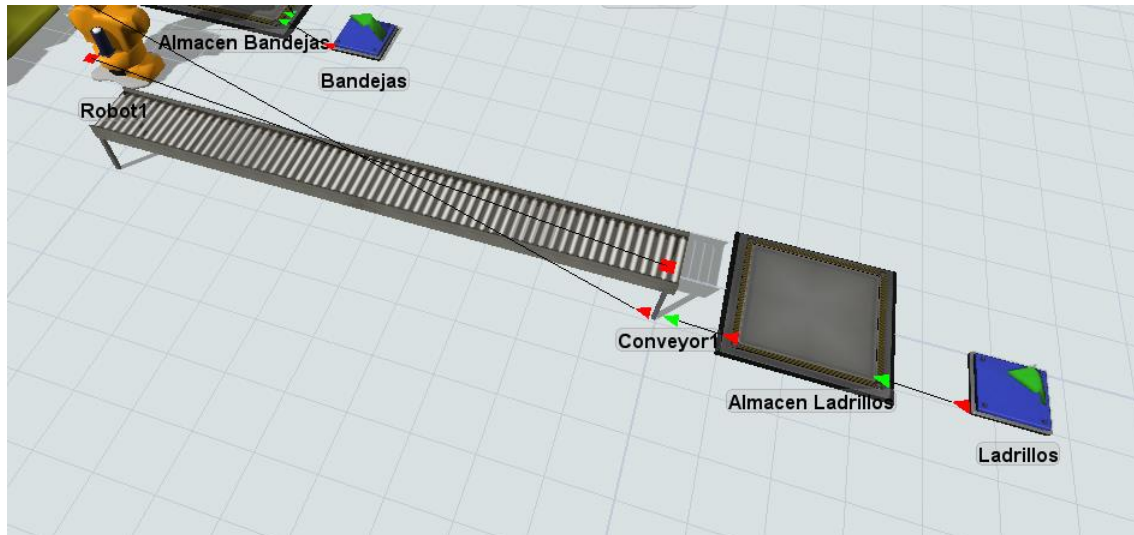


Ilustración 34. Proceso I.

En la siguiente etapa, los elementos cerámicos que vienen por el Conveyor1 son recogidos por el Robot1 que los irá colocando en bandejas en el proceso de unión (Combiner1). Una vez colocados los ladrillos en las bandejas pasarán a una cinta transportadora que irá hacia la siguiente etapa.

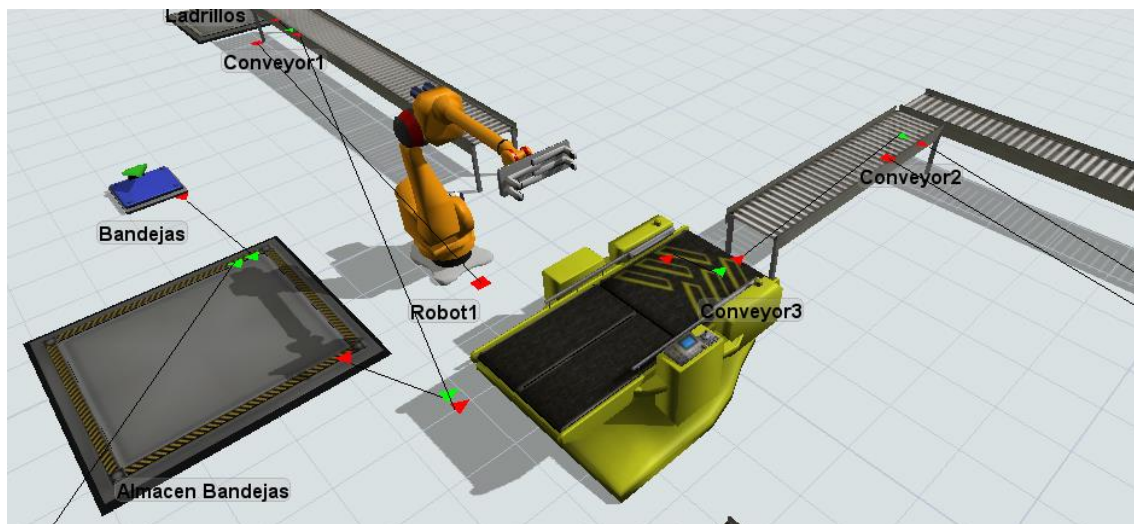


Ilustración 35. Proceso II.

Al final de esta cinta, el robot2 se encargará de coger las bandejas y pasarlas a la etapa de secado.

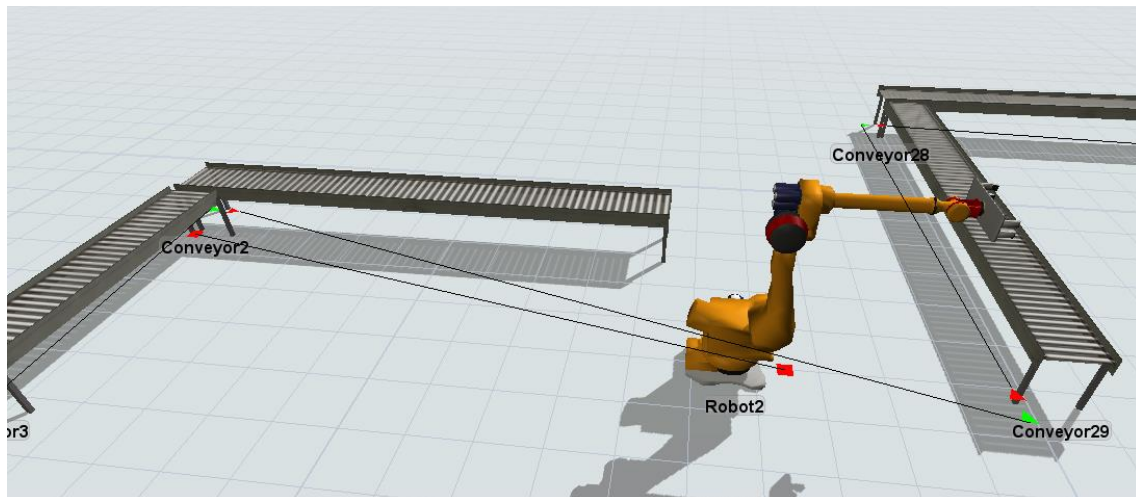


Ilustración 36. Proceso III.

El proceso de secado lo hemos representado mediante un objeto diseñado en 3D para darle realidad al modelo.

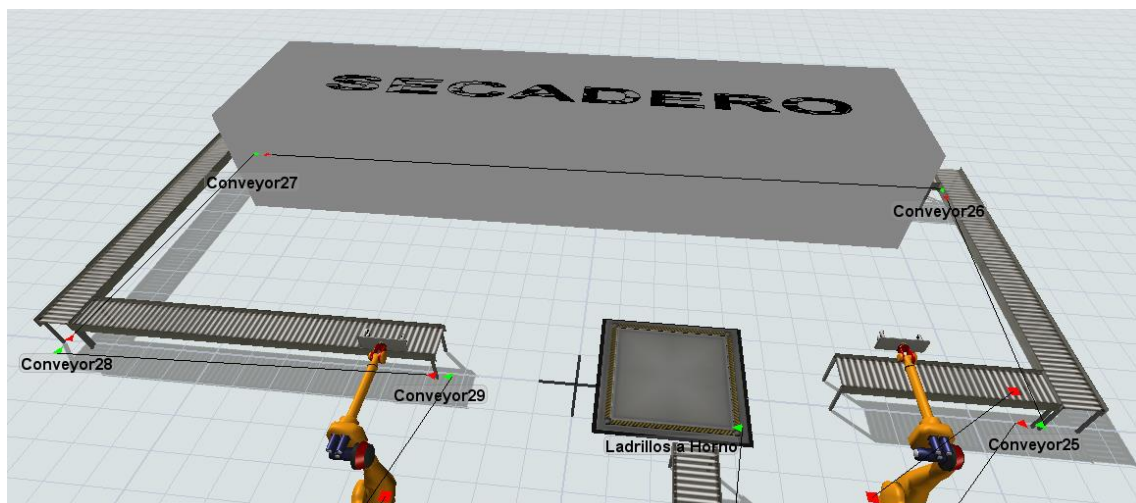


Ilustración 37. Proceso IV.

Al final del proceso de secado, el robot3 se encargará de coger las bandejas y sacarlas de la etapa de secado, para posteriormente separar las bandejas de los ladrillos.

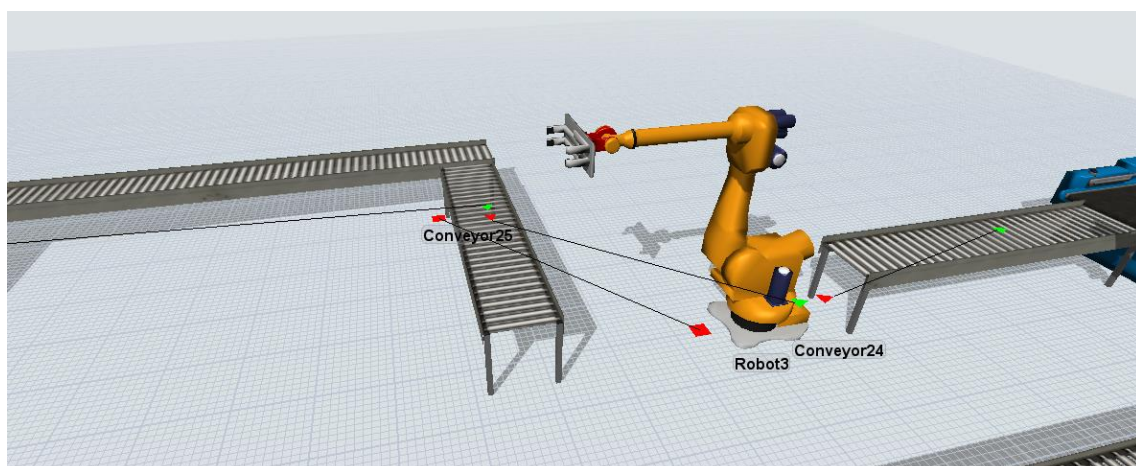
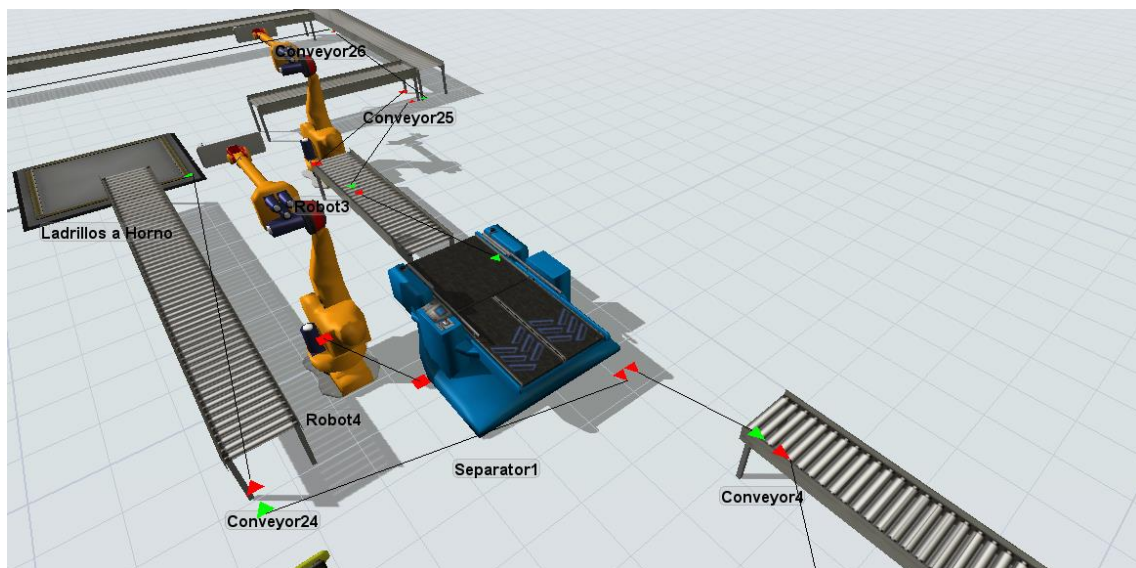
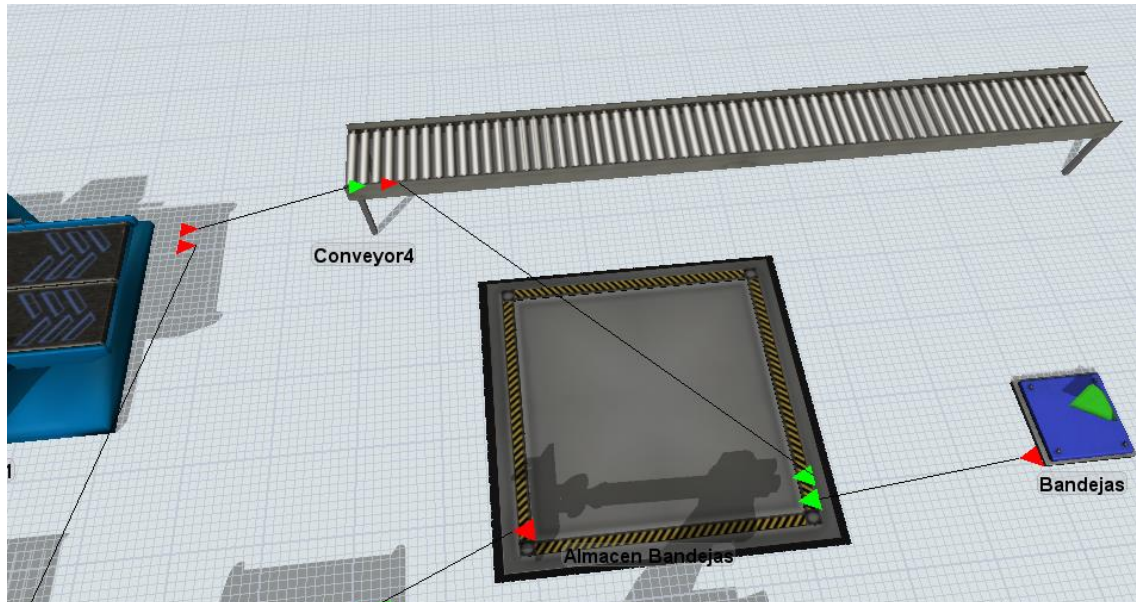


Ilustración 38. Proceso V.

En esta etapa, separaremos (Separator1) los ladrillos de las bandejas. Las bandejas irán por una cinta transportadora (Conveyor4) hasta llegar al almacén de bandejas. Los ladrillos los cogeremos mediante un robot4, que los depositará en una cinta transportadora (Conveyor24) y los llevará a un almacén para su posterior paso por la etapa del horno.



De esta forma ya tendríamos construido nuestro modelo, el cual podemos verlo en la siguiente imagen.

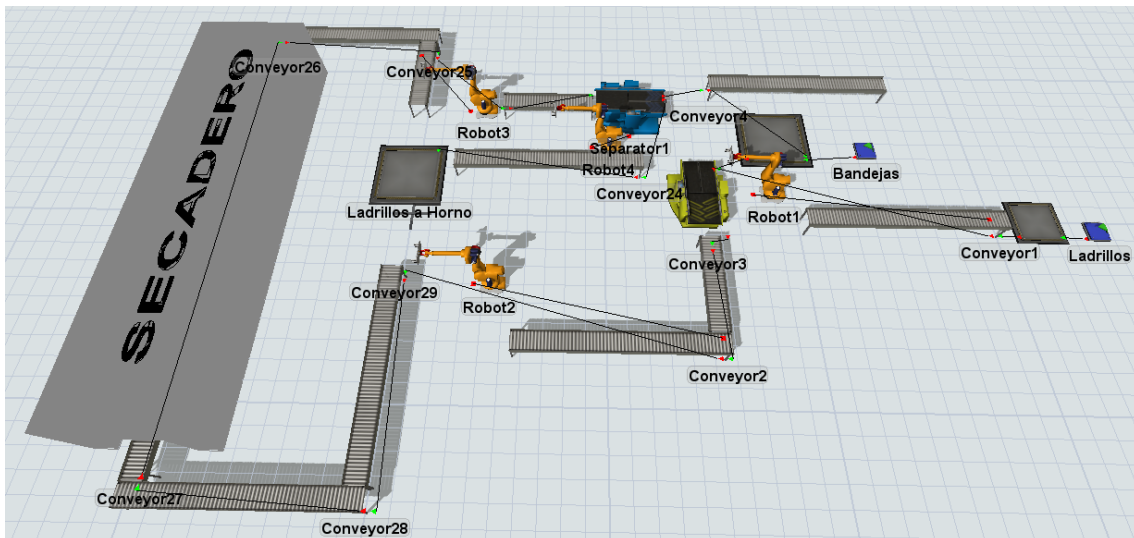


Ilustración 41. Proceso VIII.

5.4 Conexión de objetos

Una vez que arrastramos los objetos al área de trabajo, debemos conectarlos. El orden de conexión deberá ser de acuerdo con el diagrama de flujo del proceso de producción de la Ilustración 42.

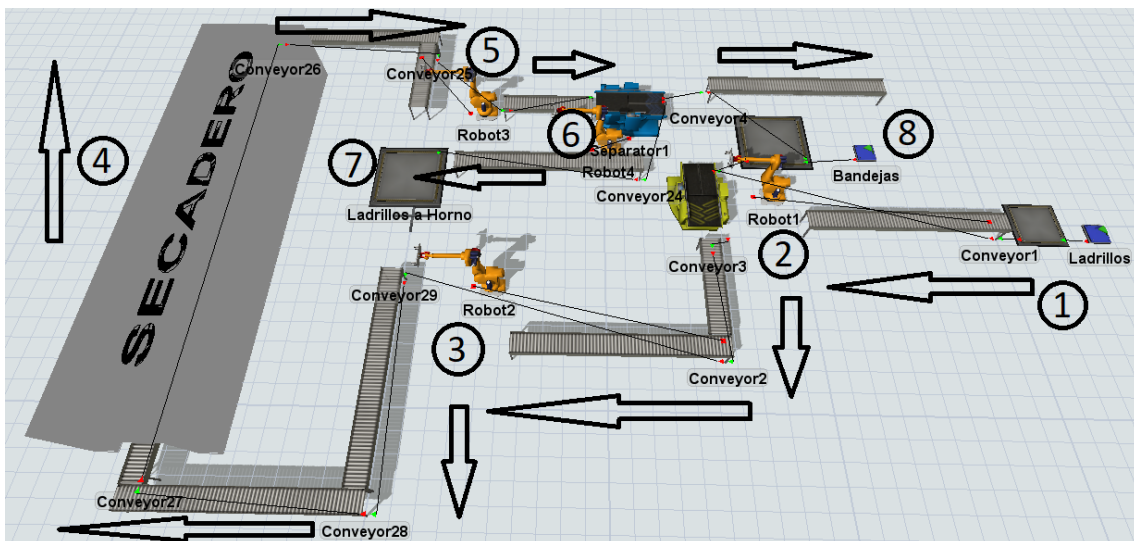


Ilustración 42. Flujo del producto.

En este caso tenemos dos tipos de conexiones:

- Conexiones de objetos: estas conexiones serán las que indiquen el flujo que han de seguir los productos.
 - Source “Ladrillos” a Queue “Almacén de ladrillos”.
 - Source “Bandejas” a Queue “Almacén de bandejas”.
 - Queue “Almacén de ladrillos” a Conveyor1.
 - Conveyor1 a Combiner1.

- Combiner1 a Conveyor3.
 - Conveyor3 a Conveyor2.
 - Conveyor2 a Conveyor29
 - Conveyor29 a Conveyor28.
 - Conveyor28 a Conveyor27.
 - Conveyor27 a Conveyor 26.
 - Conveyor26 a Conveyor25.
 - Conveyor25 a Conveyor24.
 - Conveyor24 a Separator1.
 - Separator1 a Conveyor4.
 - Conveyor4 a Queue “Almacén de bandejas”.
 - Separator1 a Conveyor23.
 - Conveyor24 a Queue “Ladrillos a horno”.
- Conexiones de puerto central: estas conexiones se hacen entre el proceso del que queremos recoger el objeto y el robot que será el encargado de realizar el traslado.
 - Conveyor1 y Robot1.
 - Conveyor2 y Robot2.
 - Conveyor25 y Robot3.
 - Separator1 y Robot4.

5.5 Configuración de los objetos

En este apartado explicaremos la configuración de cada uno de los objetos utilizados, la cual hemos utilizado para simular.

- Source Ladrillos: las propiedades que hemos modificado son las que vemos en las imágenes, estableciendo una tasa de producción exponencial de (0,10,0), definiendo el tipo de objeto a crear, en este caso tipo box simulando que se tratan de ladrillos, y estableceremos un número identificador para este objeto, en este caso el 2, que en procesos posteriores de selección nos facilitará la tarea.

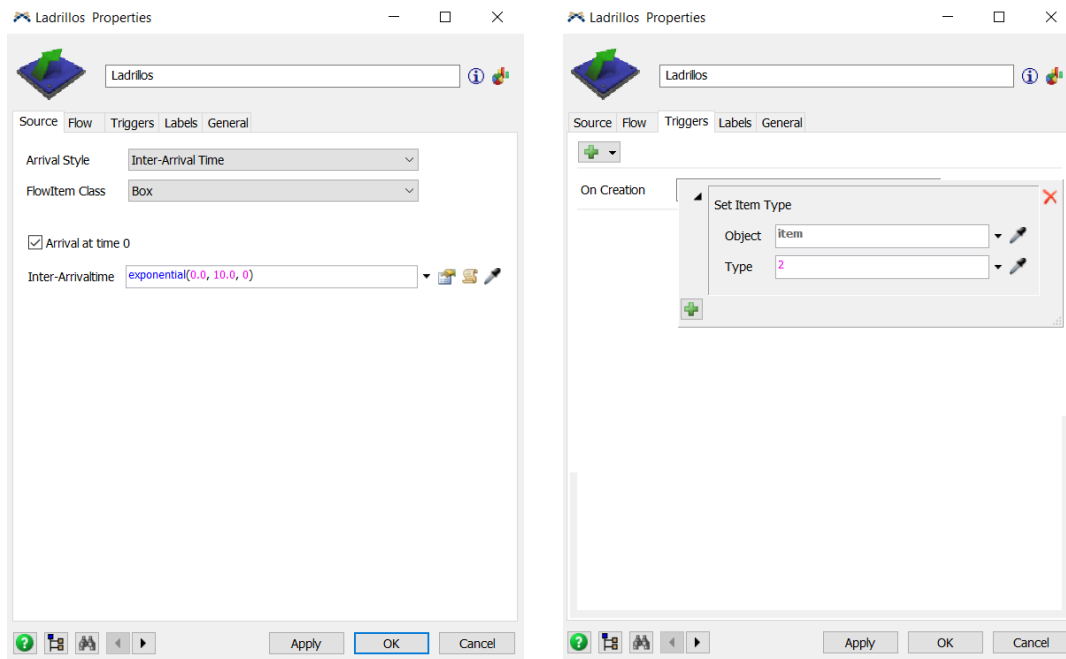


Ilustración 43. Configuración source ladrillos.

- Source Bandejas: las propiedades que hemos modificado son las mismas que en el caso anterior, estableciendo una tasa de producción exponencial de (0,10,0), definiendo el tipo de objeto a crear, en este caso tipo pallet simulando que se tratan de las bandejas, y en este caso el número identificador es el 1.

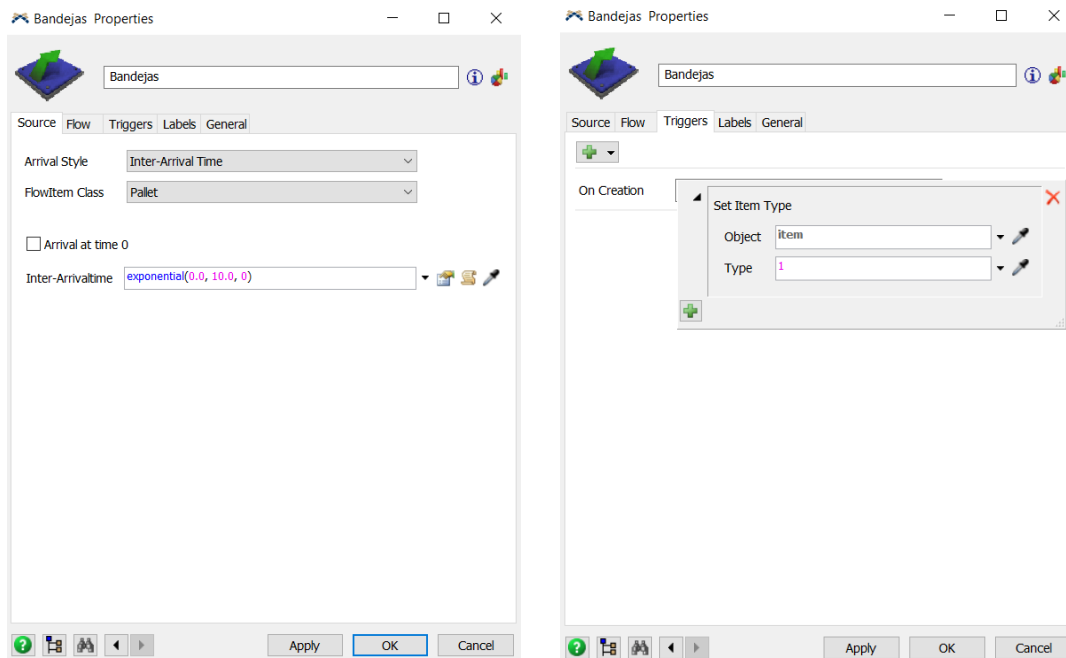


Ilustración 44. Configuración source bandejas.

- Queue Almacén Ladrillos y Almacén Bandejas: en este caso solo hemos modificado el contenido máximo.

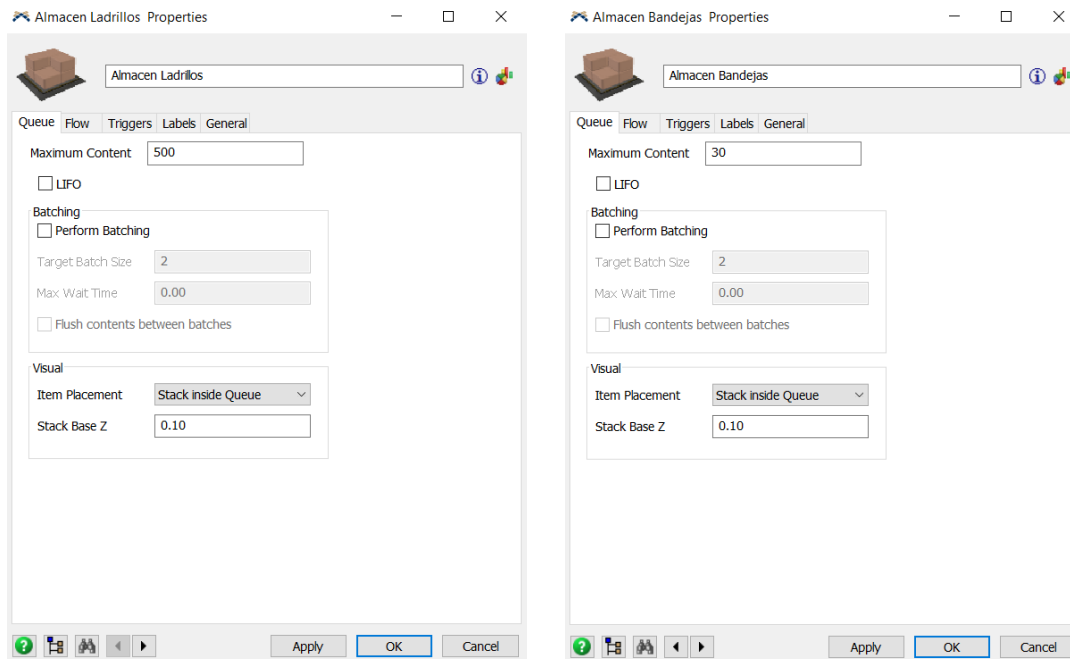


Ilustración 45. Configuración queue almacenes.

- Combiner: para este objeto definiremos el tipo de combinación que queremos, en este caso es de tipo pack, y el número de ladrillos que queremos empacar. Además, definiremos un tipo de procesamiento de 5s.

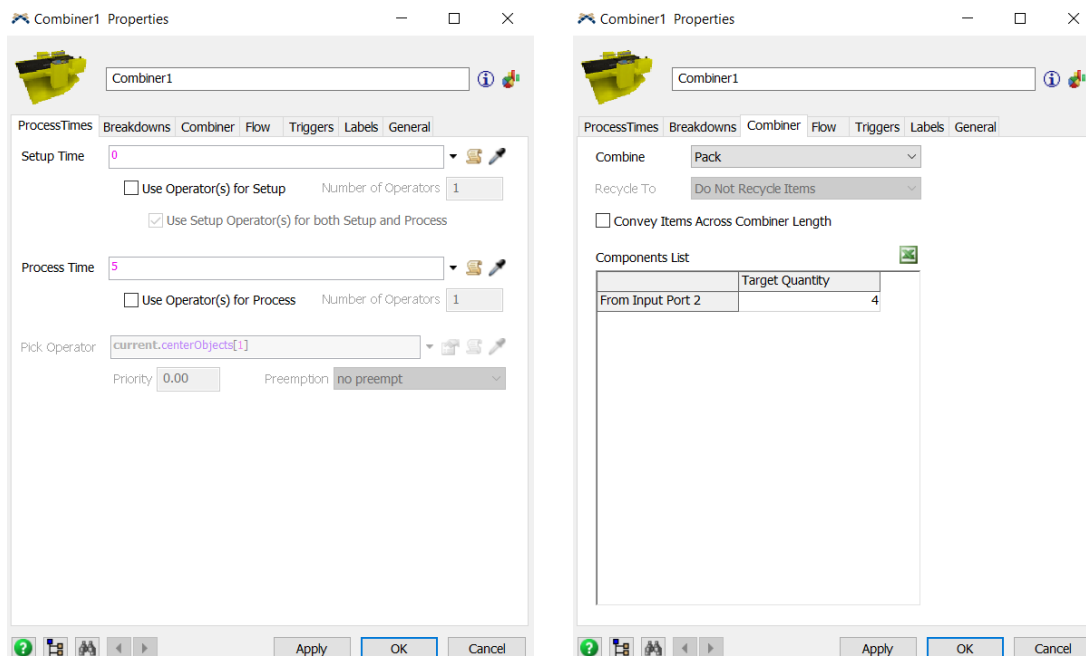


Ilustración 46. Configuración combiner.

- Separator: las propiedades modificadas son muy similares al caso anterior, un tiempo de procesamiento de 5s. Además, establecemos el tipo de separación que queremos, en este caso es Unpack.

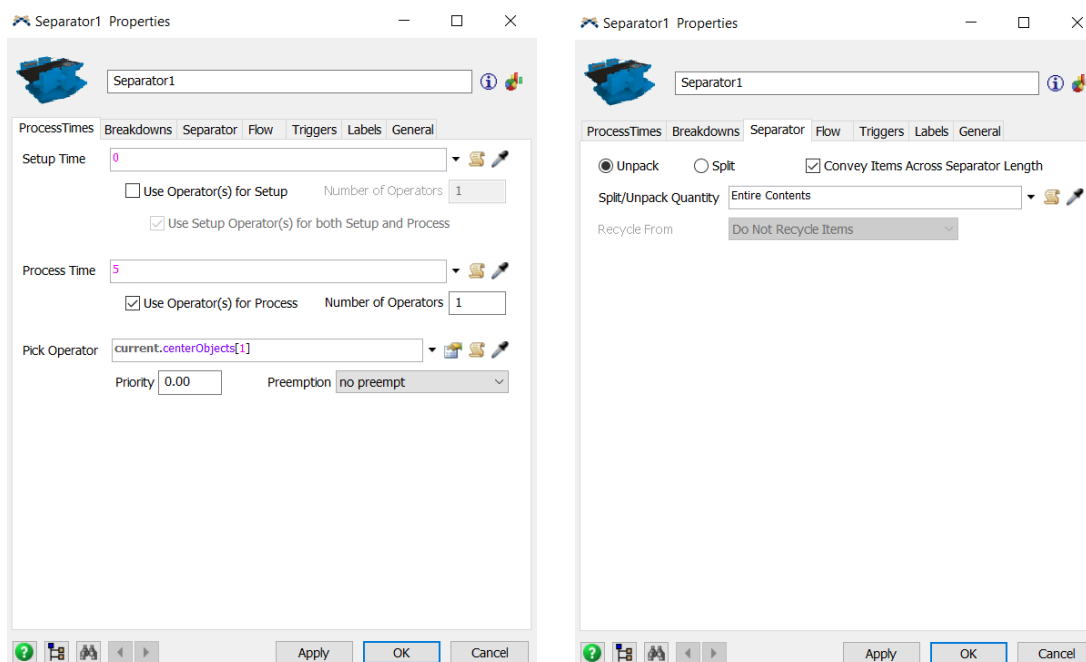


Ilustración 47. Configuración separator.

5.6 Simulación, análisis y resultados

Una vez construido nuestro modelo, podemos ejecutar la simulación del mismo. La ejecución de la simulación podremos controlarla como queramos, iniciando, parando, reseteando, acelerando la velocidad de ejecución, etc... Y una vez realizado todo este proceso podremos analizar y visualizar las distintas características que queramos, para conseguir un funcionamiento de acuerdo a las especificaciones dadas, detección de cuellos de botella, etc...

Para el estudio de este caso, utilizaremos en la simulación un periodo de tiempo de 1 hora. Además, como ayuda, se han incorporado una serie de gráficos con las distintas estadísticas de los procesos y objetos. En concreto tenemos los siguientes:

- Dos gráficos (Pie Chart), una para ver el tiempo que pasa el robot en un estado determinado, y otra para las cintas transportadoras.
- Tres gráficos (Bar Chart) para los procesos de unión y separado, y los almacenes.
- Una gráfica (Time Plot) para ver la producción de ladrillos en función del tiempo.

En primer lugar, al finalizar la simulación de 1h observamos que se han producido 218 ladrillos. Con estos datos podemos obtener el tiempo de ciclo de la línea, cumpliendo el tiempo de ciclo la siguiente expresión:

$$T_c = \frac{\text{Tiempo de producción (s)}}{\text{Unidades producidas (u)}} = \frac{3600 \text{ (s)}}{218 \text{ (u)}} = 16,51 \text{ (s/u)}$$

A partir de este dato realizaremos el análisis para cada uno de los elementos presentes en la cadena de producción, cambiando los parámetros más importantes en cada uno de ellos, con el fin de poder detectar cuellos de botella, y mejorar en la medida de lo posible la producción total.

Se dice que una cadena de producción tiene un cuello de botella cuando en alguna de las actividades del proceso esta sufre una parada o se ralentiza por diversas causas. Esto provoca un aumento del tiempo que se requiere para completar este proceso, es decir, es una parte de la cadena que va más lenta que otras, con lo cual ralentiza toda la línea de producción, limitando de esta manera la producción.

Para el análisis de estos cuellos de botella se han ido variando tiempos y velocidades en cada uno de los procesos o actividades que conforman la cadena de producción. Los parámetros clave en los distintos tipos de elementos que tenemos a lo largo de la cadena son los siguientes:

Elementos	Parámetro clave
Conveyor	Velocidad
Robot	Tiempo de movimiento
Combiner/Separator	Tiempo de proceso

Tabla 5. Parámetros clave.

El proceso que se ha seguido para detectar posibles cuellos de botella ha sido el siguiente:

- Realizaremos un primer análisis que consistirá en ir modificando para cada elemento de la cadena de producción su parámetro más importante, y obtendremos para cada elemento el valor crítico para cada elemento. Como veremos posteriormente, los únicos parámetros que nos influyen en el aumento de producción será los del robot 1 y robot 4.
- Realizaremos un segundo análisis en donde partiremos de los puntos críticos obtenidos anteriormente pero solo para aquellos elementos de la cadena en los que tenga influencia su cambio. Es decir, para los valores críticos del robot 1 y robot 4.

La idea de realizar estos dos análisis es ver si los cuellos de botella siguen siendo los mismos o se produce algún cambio.

➤ Análisis

En este apartado veremos elemento por elemento los datos obtenidos de dichos análisis, representados ambos en una misma gráfica con el fin de ver la mejora obtenida.

Conveyor1

Nos centraremos en la velocidad de la cinta transportadora como principal parámetro para realizar el análisis. Se irán variando las velocidades (m/s) de esta y veremos cómo influye en la producción final.

Si nos fijamos en los datos del primer análisis vemos como este elemento es un cuello de botella para velocidades inferiores a 0,85 m/s. Además, vemos que, aunque aumentemos la velocidad tampoco tendrá ningún efecto positivo en la producción total, por lo que no nos interesará mejorarla.

Para los datos del segundo análisis vemos como este elemento es un cuello de botella para velocidades inferiores a 3 m/s. Inicialmente la velocidad la teníamos en 1 m/s, en este caso en que la producción no mejora notablemente nada más que en 1 unidad, no nos interesaría mejorarla, ya que nos costaría más las paradas para modificar los parámetros y pérdida de tiempo y dinero que el beneficio obtenido por el aumento de la producción en una unidad.

Velocidad	Producción Ladrillos	Producción Ladrillos
0.01	36	40
0.02	80	92
0.03	116	144
0.04	149	196
0.05	177	244
0.06	201	268
0.07	209	270
0.08	210	272
0.09	212	272
0.1	212	274
0.5	217	280
0.7	217	280
0.8	217	281
0.85	218	281
0.9	218	281
1	218	281
1.5	218	281
2	218	281
3	218	282
4	218	282
5	218	282

Tabla 6. Producción 1º y 2º Análisis Conveyor 1.

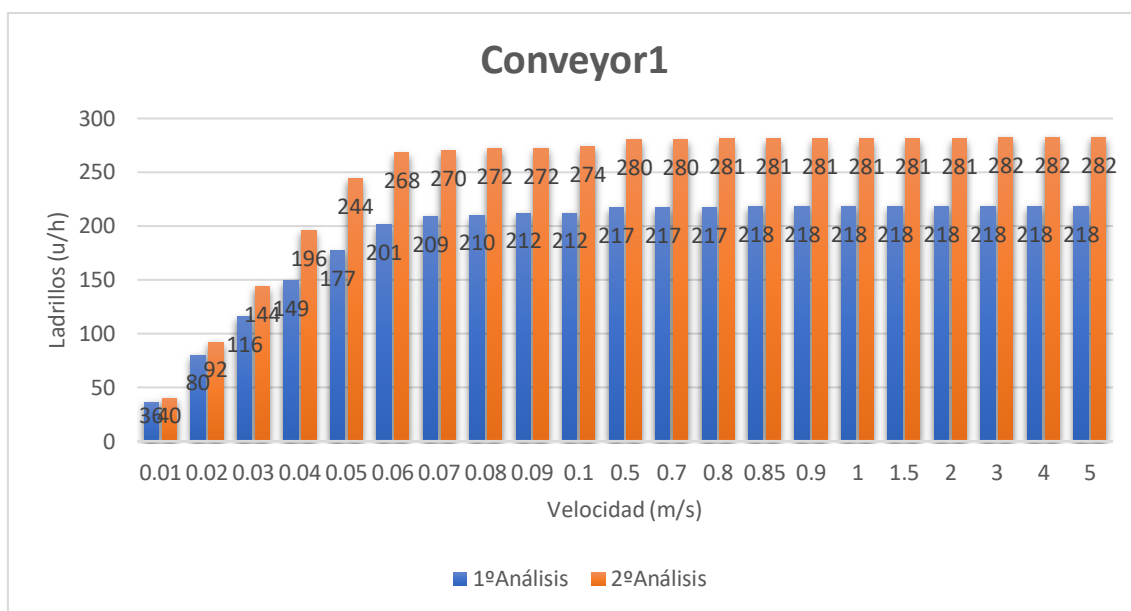


Ilustración 48. Gráfica producción Conveyor 1.

Robot1

En este caso el parámetro que nos interesa modificar es el tiempo de movimiento del robot, es decir, el tiempo que le cuesta coger y dejar el producto. De igual forma, variamos el tiempo y vemos cómo afecta a la producción total.

Tiempo	Producción Ladrillos	Producción Ladrillos
0.01	219	281
0.011	219	281
0.013	219	281
0.015	219	281
0.017	219	281
0.018	219	281
0.02	219	281
0.03	219	281
0.035	219	281
0.05	219	281
0.1	219	281
0.5	218	281
0.6	218	281
0.7	218	281
0.8	218	281
0.85	218	281
0.9	218	281
1	218	281
1.5	218	281
1.6	218	281

1.7	218	281
1.8	218	280
2	218	280
3	218	280
5	218	280

Tabla 7. Producción 1º y 2º Análisis Robot 1.

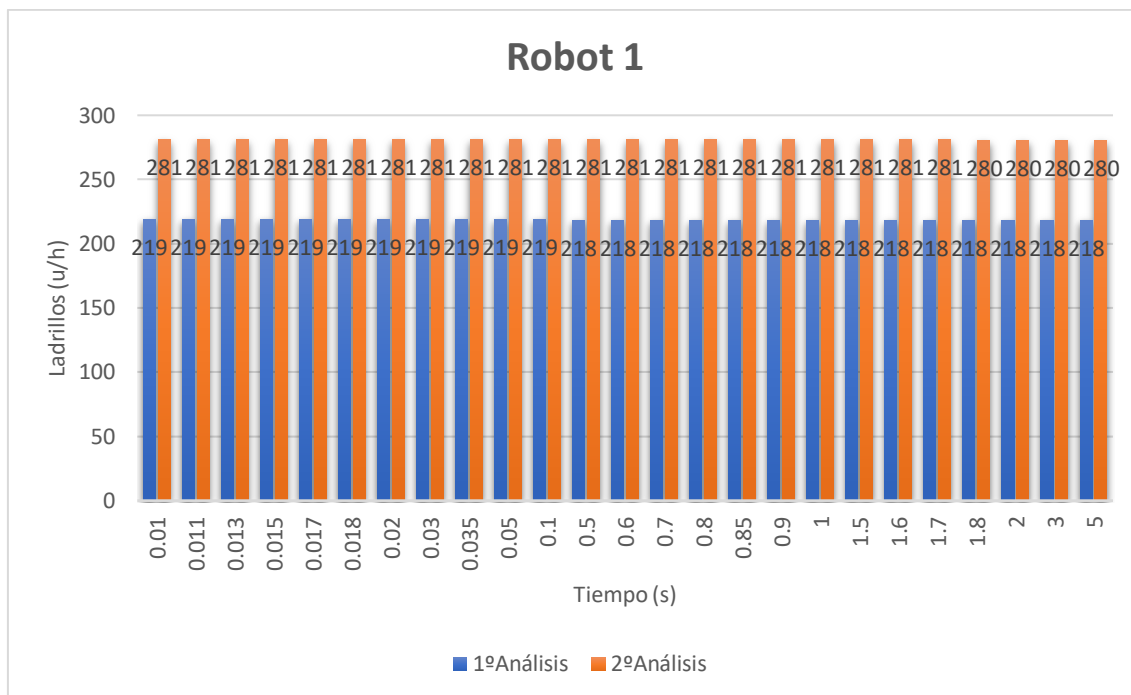


Ilustración 49. Gráfica producción Robot 1.

Si vemos los resultados para el primer análisis vemos que este robot es cuello de botella para tiempos mayores de 0,1 s. En este caso, como inicialmente lo teníamos en 5s si nos interesa mejorar los tiempos de movimiento, con el fin de obtener un beneficio en la producción total.

Para el segundo análisis ya tendríamos este robot con un tiempo de movimiento de 0,1 s. Como este valor esta dentro del rango con el que conseguimos la máxima producción, no nos interesa modificarlo.

Combiner

En esta actividad el parámetro a analizar será el tiempo de proceso, es decir, el tiempo de procesamiento una vez que tenemos los 4 ladrillos colocados en las bandejas.

Tiempo	Producción Ladrillos	Producción Ladrillos
0	218	281
0.5	218	281
1	218	281

1.5	218	281
1.6	218	281
1.7	217	281
1.8	217	281
2	217	281
3	217	281
20	200	280
30	174	279
40	154	278
50	139	231
70	115	172
100	92	124
200	52	64
300	36	47
400	28	32
500	24	24
600	20	20
800	16	16
810	14	16
815	13	16
816	12	16
820	12	16
900	12	12

Tabla 8. Producción 1º y 2º Análisis Combiner.

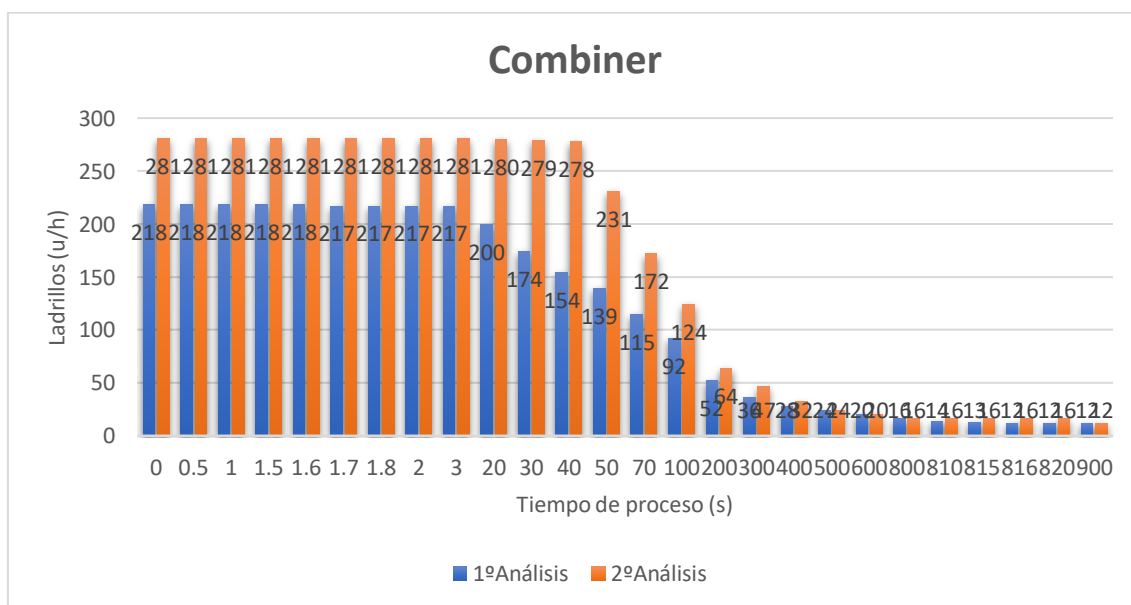


Ilustración 50. Gráfica producción Combiner.

En este proceso, en el primer análisis, vemos como para tiempos mayores de 1,6s esta actividad sería un cuello de botella, además tampoco nos interesa mejorarla respecto del valor inicial porque no tenemos ningún efecto positivo en la producción.

Para el segundo análisis, este elemento es otro caso en el que cambiar su tiempo de proceso no nos aporta ningún beneficio, por lo tanto, lo dejaremos como esta.

Conveyor3

Como en las cintas transportadoras analizadas anteriormente, nos fijaremos en el parámetro de la velocidad.

Velocidad	Producción Ladrillos	Producción Ladrillos
0.01	95	106
0.011	105	106
0.013	128	128
0.015	148	149
0.017	171	172
0.018	181	183
0.02	202	204
0.05	212	273
0.1	215	277
0.5	217	280
0.6	217	280
0.7	218	281
0.8	218	281
0.85	218	281
0.9	218	281
1	218	281
1.5	218	281
2	218	281
3	218	281

Tabla 9. Producción 1º y 2º Análisis Conveyor 3.

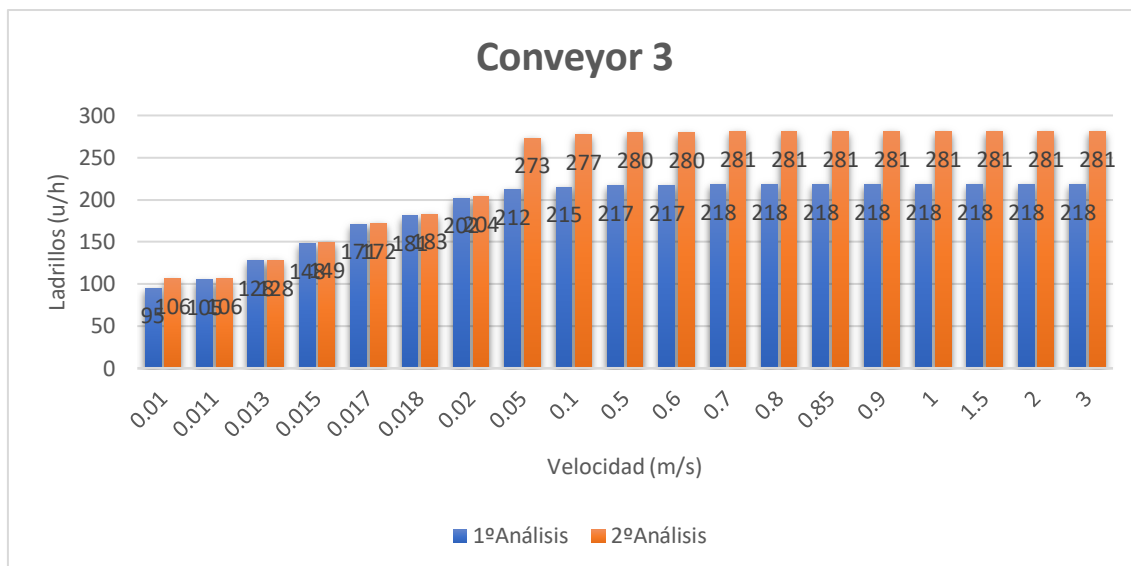


Ilustración 51. Gráfica producción Conveyor 3.

Para el primer análisis, esta actividad vemos que será un cuello de botella para velocidades inferiores a 0.7 m/s. Como inicialmente tenemos puesta la velocidad a 1 m/s no nos interesa mejorarla.

Para el segundo análisis, como inicialmente la velocidad de partida es de 1 m/s, la mantendremos ya que no supone ninguna mejora.

Conveyor2

Velocidad	Producción Ladrillos	Producción Ladrillos
0.01	76	86
0.011	84	86
0.013	104	105
0.015	124	124
0.017	144	144
0.018	152	153
0.02	172	172
0.03	197	255
0.035	200	258
0.05	206	265
0.1	212	274
0.5	217	280
0.6	217	280
0.7	217	280
0.8	217	281
0.85	218	281
0.9	218	281

1	218	281
1.5	218	281
2	218	281
3	218	282
5	218	282

Tabla 10. Producción 1º y 2º Análisis Conveyor 2.

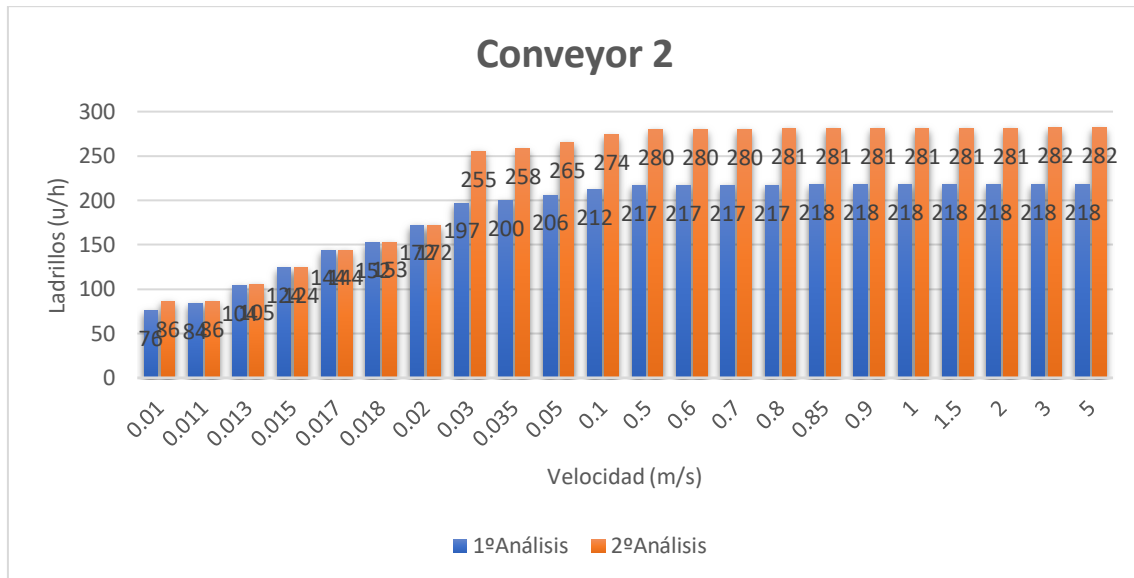


Ilustración 52. Gráfica producción Conveyor 2.

Para el primer análisis, esta actividad vemos que será un cuello de botella para velocidades inferiores a 0.85 m/s. Como inicialmente tenemos puesta la velocidad a 1 m/s no nos interesa mejorarla.

Para el segundo análisis, inicialmente tenemos la velocidad a 1 m/s, llevarla hasta el punto crítico nos supondría una mejora de una unidad por hora, que en relación con las centenas de unidades de producción por hora es algo inapreciable, por lo tanto, no lo modificamos.

Robot2

Tiempo	Producción Ladrillos	Producción Ladrillos
0.01	218	282
0.011	218	282
0.013	218	282
0.015	218	282
0.017	218	282
0.018	218	282
0.02	218	282

0.03	218	282
0.035	218	282
0.05	218	282
0.1	218	282
0.5	218	282
0.6	218	282
0.7	218	282
0.8	218	282
0.85	218	282
0.9	218	282
1	218	282
1.5	218	282
1.7	218	282
1.8	218	281
1.9	218	281
2	218	281
3	218	281
5	218	281

Tabla 11. Producción 1º y 2º Análisis Robot 2.

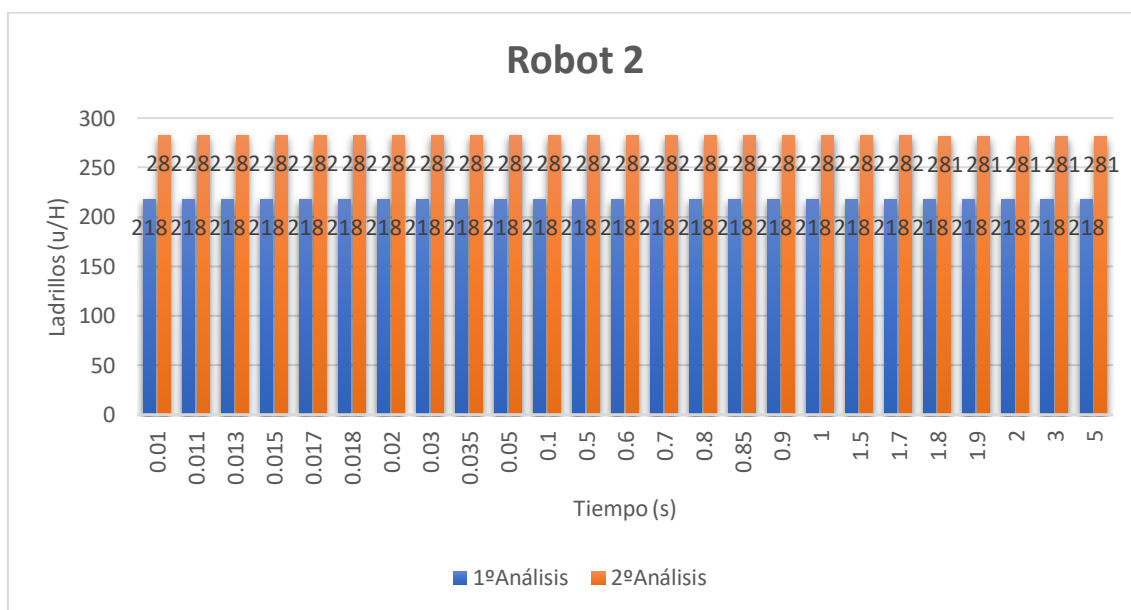


Ilustración 53. Gráfica producción Robot 2.

En el primer análisis, vemos como no tendríamos ningún aumento ni decremento en la producción, por lo que no nos interesará modificarlo.

En el segundo análisis, nos ocurre algo similar que, en el caso anterior, su mejora no es muy notable por lo que no nos interesa su modificación.

Conveyor29

Velocidad	Producción Ladrillos	Producción Ladrillos
0.01	80	100
0.011	80	100
0.013	100	100
0.015	116	117
0.017	133	134
0.018	142	143
0.02	158	159
0.03	197	232
0.035	200	259
0.05	206	265
0.1	212	274
0.5	206	280
0.6	217	280
0.7	217	280
0.8	218	281
0.85	218	281
0.9	218	281
1	218	281
1.5	218	281
2	218	281
3	218	282
5	218	282

Tabla 12. Producción 1º y 2º Análisis Conveyor 29.

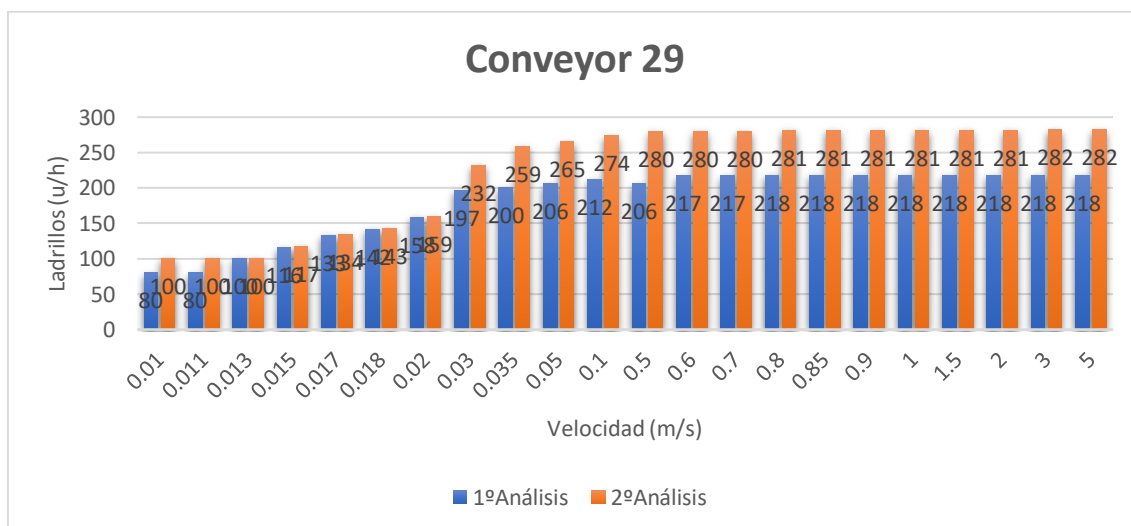


Ilustración 54. Gráfica producción Conveyor 29.

En el primer análisis, ara este elemento vemos que será un cuello de botella para velocidades inferiores a 0.8 m/s. Como inicialmente tenemos puesta la velocidad a 1 m/s no nos interesa mejorarla.

En el segundo análisis, de igual forma que en algún caso anterior, nos quedamos con la velocidad de 1 m/s.

Conveyor28

Velocidad	Producción Ladrillos	Producción Ladrillos
0.01	89	134
0.011	89	134
0.013	112	134
0.015	133	134
0.017	155	156
0.018	166	167
0.02	187	188
0.03	197	255
0.035	200	259
0.05	206	265
0.1	212	274
0.5	217	280
0.6	217	280
0.7	217	280
0.8	218	281
0.85	218	281
0.9	218	281
1	218	281
1.5	218	281
2	218	281
3	218	282
4	218	282
5	218	282

Tabla 13. Producción 1º y 2º Análisis Conveyor 28.

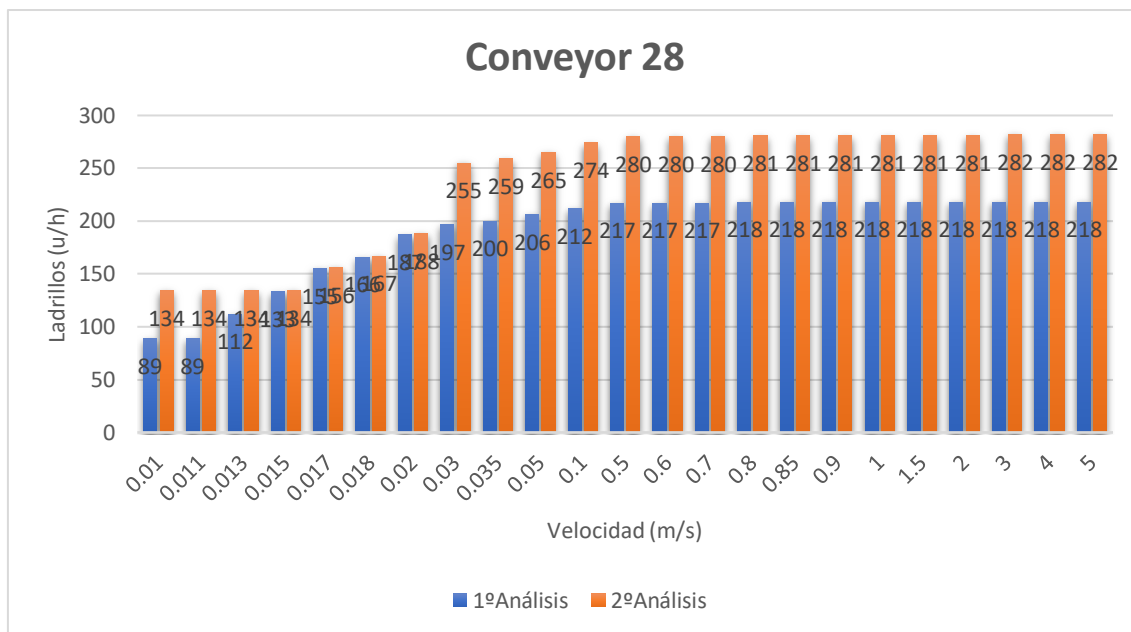


Ilustración 55. Gráfica producción Conveyor 28.

En el primer análisis, para este elemento vemos que será un cuello de botella para velocidades inferiores a 0.8 m/s. Como inicialmente tenemos puesta la velocidad a 1 m/s no nos interesa mejorarla.

En el segundo análisis, de igual forma que en algún caso anterior, nos quedamos con la velocidad de 1 m/s.

Conveyor27

Velocidad	Producción Ladrillos	Producción Ladrillos
0.01	42	32
0.011	42	38
0.013	64	66
0.015	86	88
0.017	108	110
0.018	119	120
0.02	140	141
0.03	166	215
0.035	174	224
0.05	188	242
0.1	204	263
0.3	210	276
0.5	216	279
0.6	216	280
0.7	217	280
0.8	217	280
0.85	218	281
0.9	218	281

1	218	281
1.5	218	281
2	218	282
3	218	283
4	218	283
5	218	283

Tabla 14. Producción 1º y 2º Análisis Conveyor 27.

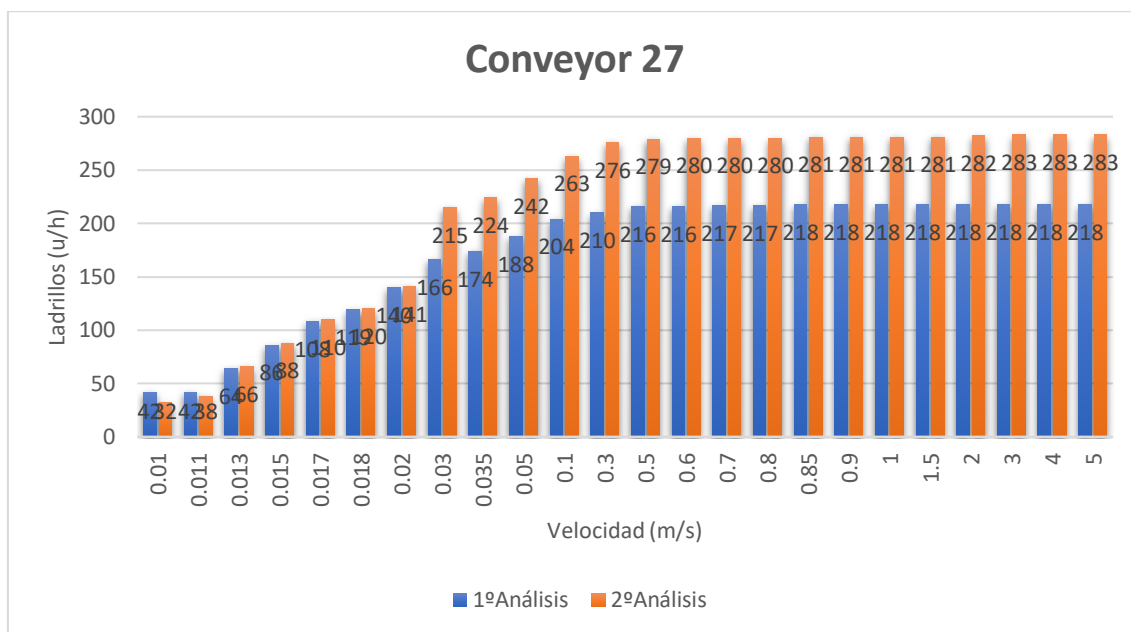


Ilustración 56. Gráfica producción Conveyor 27.

En el primer análisis, para este elemento vemos que será un cuello de botella para velocidades inferiores a 0.85 m/s. Como inicialmente tenemos puesta la velocidad a 1 m/s no nos interesa mejorarla.

En el segundo análisis, de igual forma que en algún caso anterior, nos quedamos con la velocidad de 1 m/s.

Conveyor26

Velocidad	Producción Ladrillos	Producción Ladrillos
0.01	89	80
0.011	89	85
0.013	112	113
0.015	133	134
0.017	155	156
0.018	166	167
0.02	187	188
0.03	197	255
0.035	200	259

0.05	206	265
0.1	212	274
0.3	214	279
0.5	217	280
0.6	217	280
0.7	217	281
0.8	218	281
0.85	218	281
0.9	218	281
1	218	281
1.5	218	281
2	218	281
3	218	282
4	218	282
5	218	282

Tabla 15. Producción 1º y 2º Análisis Conveyer 26.

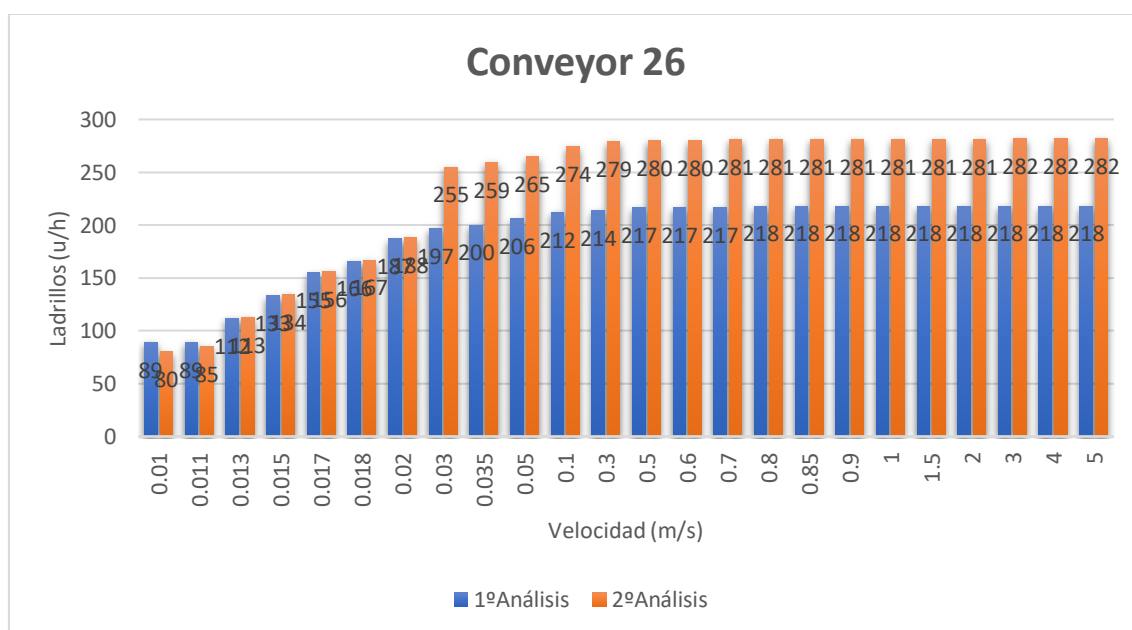


Ilustración 57. Gráfica producción Conveyer 26.

En el primer análisis, para este elemento vemos que será un cuello de botella para velocidades inferiores a 0.8 m/s. Como inicialmente tenemos puesta la velocidad a 1 m/s no nos interesa mejorarla.

En el segundo análisis, de igual forma que en algún caso anterior, nos quedamos con la velocidad de 1 m/s.

Conveyor25

Velocidad	Producción Ladrillos	Producción Ladrillos
0.01	100	92
0.011	100	99
0.013	120	125
0.015	140	140
0.017	158	158
0.018	168	168
0.02	186	187
0.025	200	232
0.03	208	268
0.035	209	270
0.05	212	273
0.1	215	277
0.3	216	280
0.5	217	280
0.6	218	280
0.7	218	281
0.8	218	281
0.85	218	281
0.9	218	281
1	218	281
1.5	218	281
2	218	281
3	218	281
4	218	281
5	218	281

Tabla 16. Producción 1º y 2º Análisis Conveyor 25.

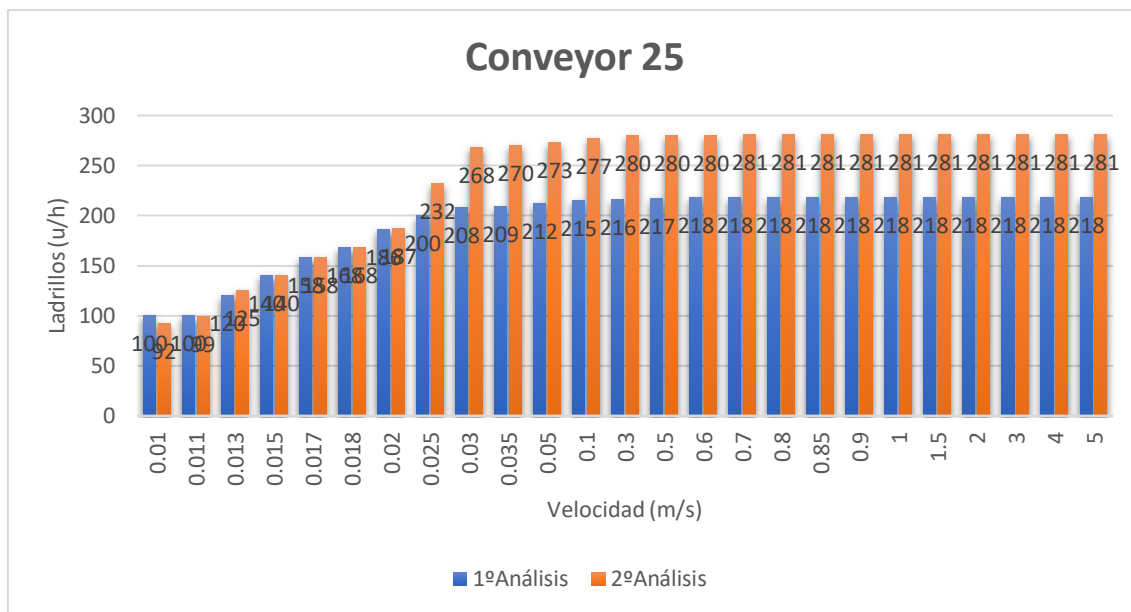


Ilustración 58. Gráfica producción Conveyor 25.

En el primer elemento, para este elemento vemos que será un cuello de botella para velocidades inferiores a 0.6 m/s. Como inicialmente tenemos puesta la velocidad a 1 m/s no nos interesa mejorarla.

En el segundo análisis, de igual forma que en algún caso anterior, nos quedamos con la velocidad de 1 m/s.

Robot3

Tiempo	Producción Ladrillos	Producción Ladrillos
0.01	218	282
0.011	218	282
0.013	218	282
0.015	218	282
0.017	218	282
0.018	218	282
0.02	218	282
0.03	218	282
0.035	218	282
0.05	218	282
0.1	218	282
0.5	218	282
0.6	218	282
0.7	218	282
0.8	218	282
0.85	218	282
0.9	218	282

1	218	282
1.5	218	282
1.7	218	282
1.8	218	281
1.9	218	281
2	218	281
3	218	281
5	218	281

Tabla 17. Producción 1º y 2º Análisis Robot 3.

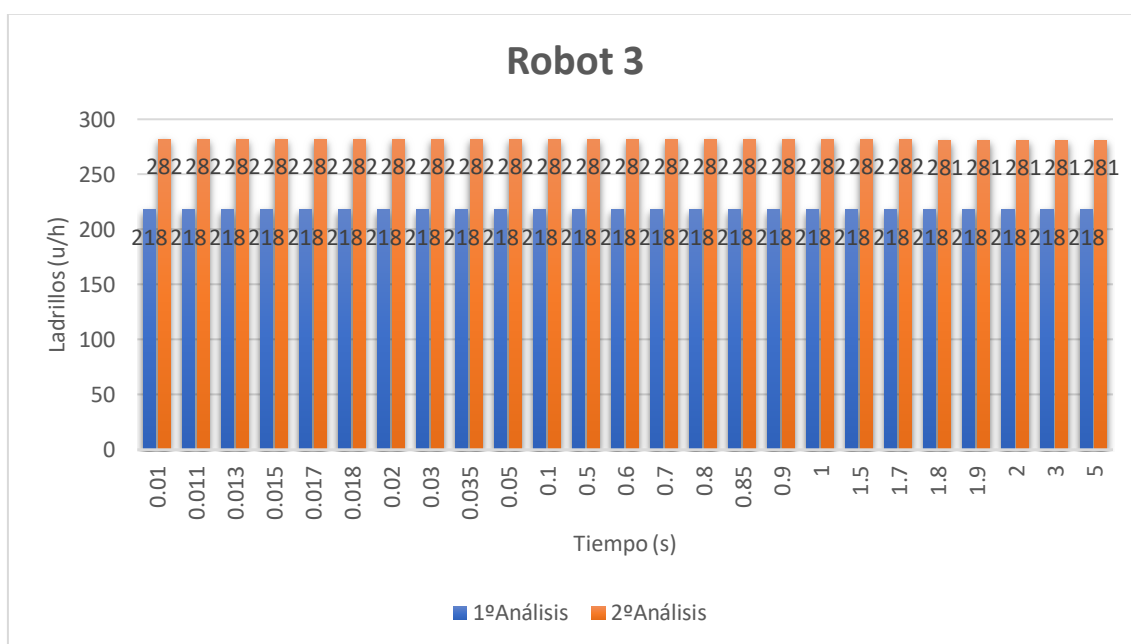


Ilustración 59. Gráfica producción Robot 3.

En el primer análisis, fijándonos en los resultados obtenidos a partir de las variaciones de su parámetro clave, vemos como no conseguiríamos ningún tipo de mejora en la producción, por lo que se trata de un elemento que no nos interesará mejorar.

En el segundo análisis, de igual forma que en algún caso anterior, nos quedamos con la velocidad de 1 m/s.

Conveyor24

Velocidad	Producción Ladrillos	Producción Ladrillos
0.01	96	88
0.011	96	90
0.013	113	105
0.015	131	132
0.017	148	149

0.018	156	156
0.02	171	172
0.025	189	209
0.03	208	244
0.035	209	270
0.05	212	273
0.1	215	277
0.3	215	280
0.5	217	280
0.6	218	280
0.7	218	281
0.8	218	281
0.85	218	281
0.9	218	281
1	218	281
1.5	218	281
2	218	281
3	218	281
4	218	281
5	218	281

Tabla 18. Producción 1º y 2º Análisis Conveyer 24.

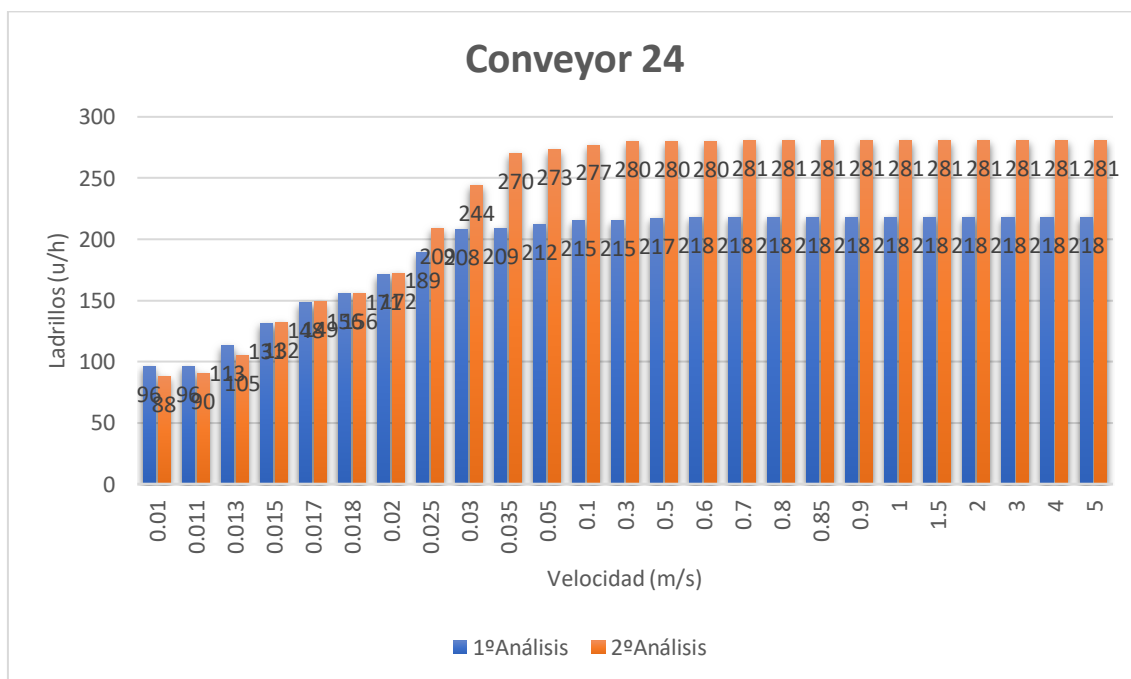


Ilustración 60. Gráfica producción Conveyer 24.

En el primer análisis, para este elemento vemos que será un cuello de botella para velocidades inferiores a 0.6 m/s. Como inicialmente tenemos puesta la velocidad a 1 m/s no nos interesa mejorarla.

En el segundo análisis, de igual forma que en algún caso anterior, nos quedamos con la velocidad de 1 m/s.

Separator

Tiempo	Producción Ladrillos	Producción Ladrillos
0	218	287
0.01	218	287
0.05	218	287
0.09	218	287
0.1	218	286
0.5	218	283
1	218	280
1.5	216	277
1.6	216	276
1.7	216	274
1.8	215	272
2	214	272
3	211	270
8	195	245
10	190	229
15	172	218
20	157	202
30	148	177
40	133	156
50	121	144
70	104	116
100	84	92
200	52	53
300	36	44
400	28	28
500	24	25
600	19	20
800	14	16
815	12	14
900	12	12

Tabla 19. Producción 1º y 2º Análisis Separator.

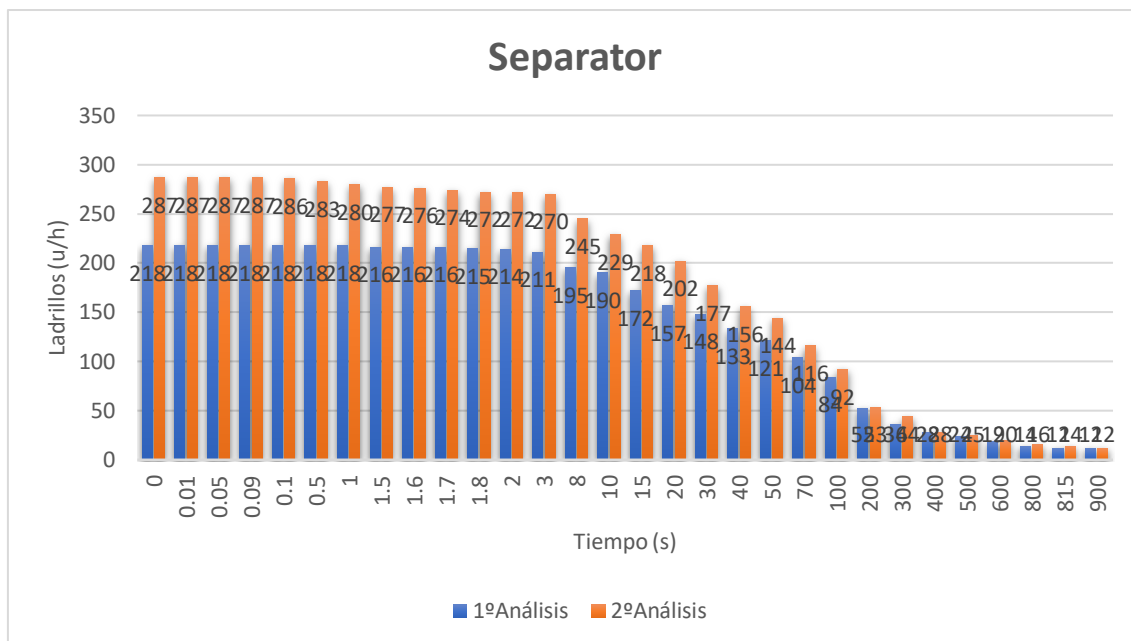


Ilustración 61. Gráfica producción Separator.

En el primer análisis, para este elemento vemos que será un cuello de botella para tiempos mayores de 1s. Como inicialmente tenemos configurado este elemento para un tiempo de 1s, no nos interesa modificarlo.

En el segundo análisis, de igual forma que otros casos, nos quedamos con el parámetro inicial, ya que no supone un gran beneficio su mejora.

Conveyor4

Velocidad	Producción Ladrillos	Producción Ladrillos
0.01	112	106
0.011	112	123
0.013	128	140
0.015	145	152
0.017	161	165
0.018	169	176
0.02	184	193
0.025	198	232
0.03	218	270
0.035	218	281
0.05	218	281
0.1	218	281
0.3	218	281
0.5	218	281
0.6	218	281
0.7	218	281
0.8	218	281
0.85	218	281

0.9	218	281
1	218	281
1.5	218	281
2	218	281
3	218	281
5	218	281
10	218	281

Tabla 20. Producción 1º y 2º Análisis Conveyor 4.

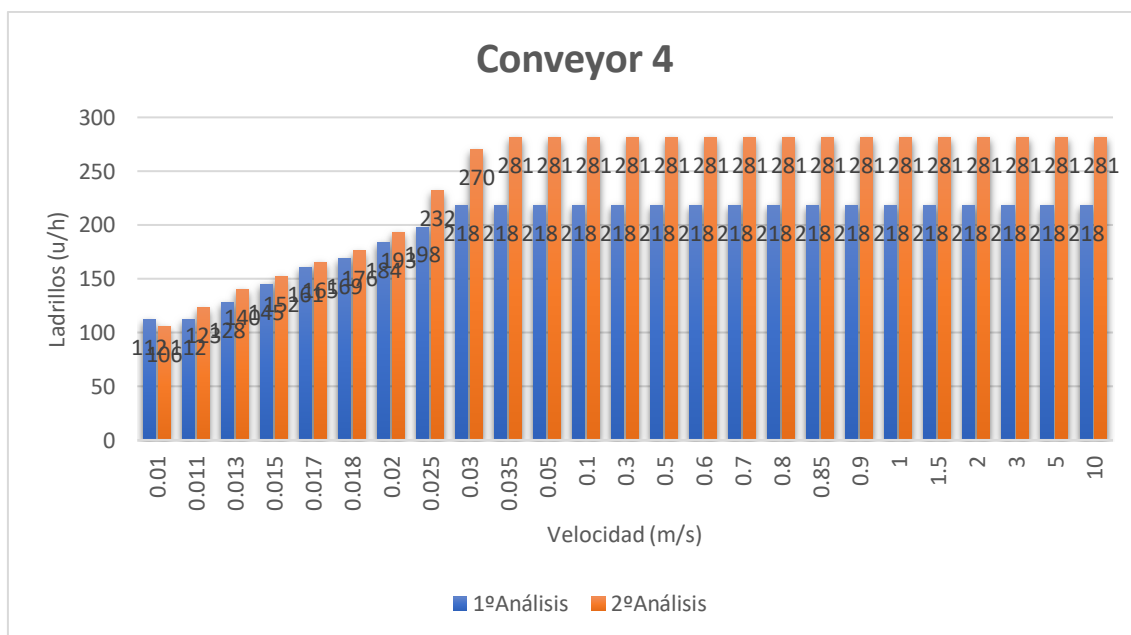


Ilustración 62. Gráfica producción Conveyor 4.

En el primer análisis, para este elemento vemos que será un cuello de botella para velocidades inferiores a 0.03 m/s. Como inicialmente tenemos puesta la velocidad a 1 m/s no nos interesa mejorarla.

En el segundo análisis, de igual forma que en algún caso anterior, nos quedamos con la velocidad de 1 m/s.

Robot4

Tiempo	Producción Ladrillos	Producción Ladrillos
0.01	280	356
0.1	280	356
0.5	280	356
0.7	280	356
0.9	280	356
1	280	356
2	280	356
2.5	280	356

2.6	280	352
3	280	320
3.5	280	303
3.6	280	295
3.7	275	280
3.8	269	270
3.9	264	265
4	259	260
4.1	254	255
4.2	249	250
4.3	245	246
4.4	240	241
4.5	236	237
4.6	232	233
4.7	228	229
4.8	225	226
4.9	221	222
5	218	219
5.1	214	215
5.2	211	212
5.3	208	209
5.4	204	205
5.5	202	203
5.6	199	200
5.7	196	197
5.8	193	194
5.9	191	192
6	188	189
7	165	166
8	148	150
9	133	138
10	121	122

Tabla 21. Producción 1º y 2º Análisis Robot 4.

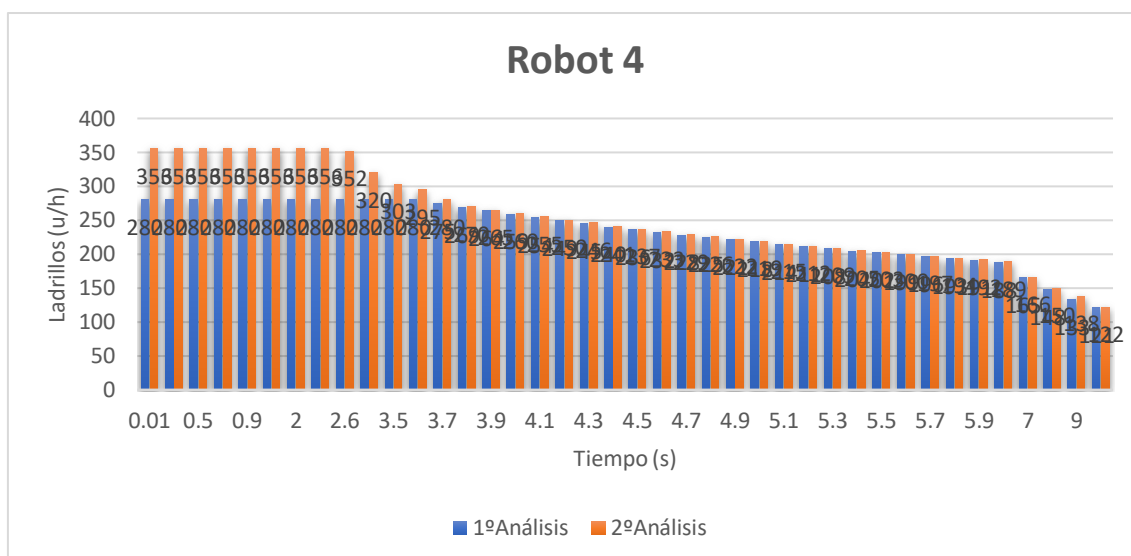


Ilustración 63. Gráfica producción Robot 4.

En el primer análisis, para este elemento vemos que será un cuello de botella para tiempos mayores de 3,6s. Como inicialmente lo tenemos configurado a 5s, se trata de un elemento que si nos interesa mejorar.

En el segundo análisis, como vemos, este elemento será uno de los cuellos de botella, limitándonos la producción si ponemos su parámetro clave por encima del punto crítico. De modo que nos interesa llevarlo al valor crítico, que es 2,5 s, para conseguir de esta forma la máxima producción.

Conveyor23

Velocidad	Producción Ladrillos	Producción Ladrillos
0.01	38	35
0.011	38	46
0.013	45	51
0.015	53	56
0.017	60	62
0.018	63	67
0.02	69	74
0.025	84	91
0.03	96	105
0.035	107	119
0.05	132	152
0.1	168	205
0.3	188	256
0.5	211	270
0.6	213	273
0.7	215	276
0.8	216	278

0.85	216	280
0.9	217	280
1	218	281
1.5	218	283
2	218	287
3	218	289
5	218	291
7	218	291
8	218	292
9	218	292
10	218	292

Tabla 22. Producción 1º y 2º Análisis Conveyor 23.

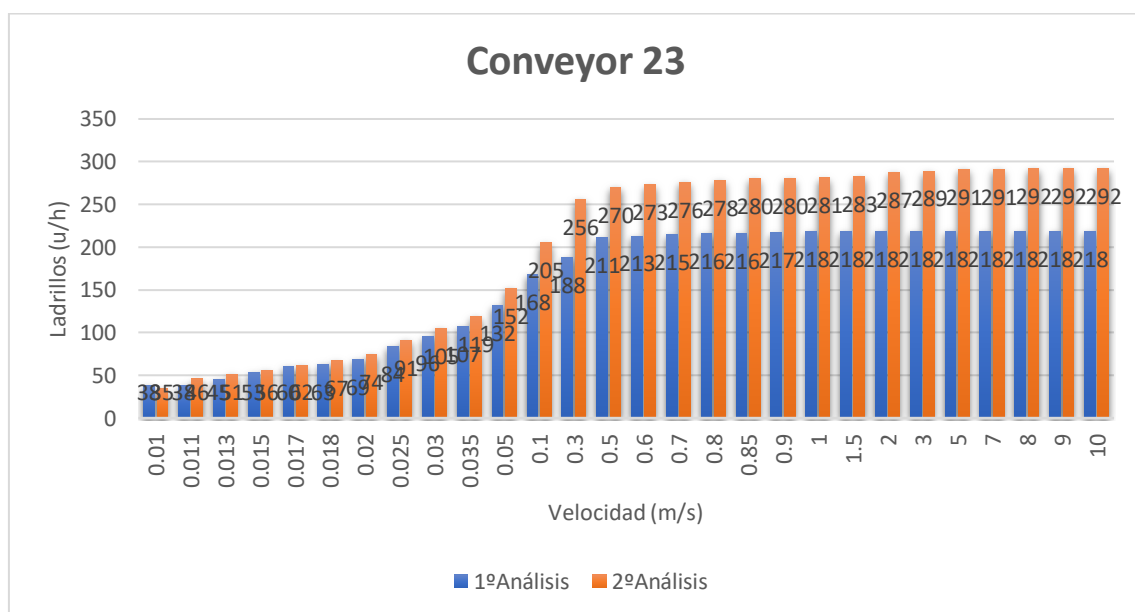


Ilustración 64. Gráfica producción Conveyor 23.

En el primer análisis, para este elemento vemos que será un cuello de botella para velocidades inferiores a 1 m/s. Como inicialmente tenemos puesta la velocidad a 1 m/s no nos interesa mejorarla.

En el segundo análisis, de igual forma que en algún caso anterior, nos quedamos con la velocidad de 1 m/s.

En la siguiente tabla vemos los valores críticos obtenidos tras el primer análisis:

	Parámetros de partida			Puntos críticos		
	Velocidad (m/s)	Tiempo de movimiento (s)	Tiempo de proceso (s)	Velocidad (m/s)	Tiempo de movimiento (s)	Tiempo de proceso (s)
Conveyor1	1	-	-	0,85	-	-
Robot1	-	5	-	-	0,1	-
Combiner	-	-	1	-	-	1,6
Conveyor3	1	-	-	0,7	-	-
Conveyor2	1	-	-	0,85	-	-
Robot2	-	5	-	-	NO TIENE	-
Conveyor29	1	-	-	0,8	-	-
Conveyor28	1	-	-	0,8	-	-
Conveyor27	1	-	-	0,85	-	-
Conveyor26	1	-	-	0,8	-	-
Conveyor25	1	-	-	0,6	-	-
Robot3	-	5	-	-	NO TIENE	-
Conveyor24	1	-	-	0,6	-	-
Separator	-	-	1	-	-	1
Conveyor4	1	-	-	0,03	-	-
Robot4	-	5	-	-	3,6	-
Conveyor23	1	-	-	1	-	-

Tabla 23. Puntos críticos análisis 1º.

Para este primer análisis, los elementos que nos permitirán aumentar la producción será llevar al valor crítico los parámetros del robot 1 y del robot 4. El resto de elementos de la cadena no tendrá influencia el cambio, por lo tanto, podremos dejar el valor inicial.

Anteriormente habíamos analizado el tiempo de ciclo de la línea obteniendo un resultado de 16,51 (s/u). Si volvemos a realizar ese cálculo con los parámetros obtenidos de este primer análisis obtenemos lo siguiente:

$$T_c = \frac{\text{Tiempo de producción (s)}}{\text{Unidades producidas (u)}} = \frac{3600 (s)}{280 (u)} = 12,85 (s/u)$$

Es decir, hemos conseguido reducir en aproximadamente un 22% el tiempo de producción para cada unidad. Lo que nos permitirá incrementar la capacidad de producción por hora.

Con la intención de intentar obtener una mayor producción, realizaremos un segundo análisis, con el fin no solo de ver si se produce algún cambio del cuello de botella, sino

también con el objetivo de conseguir si se puede un aumento mayor en la capacidad de producción.

Para este segundo análisis partiremos de los parámetros iniciales de todos los elementos excepto en el robot 1 y robot 4, que los llevaremos al valor crítico. El proceso a seguir es exactamente igual, ir modificando el parámetro crítico de cada elemento incluso de los dos cuellos de botella identificados y ver las repercusiones que tiene en la producción.

En la siguiente tabla vemos los valores críticos obtenidos tras el segundo análisis:

	Parámetros iniciales			Puntos críticos		
	Velocidad (m/s)	Tiempo de movimiento (s)	Tiempo de proceso (s)	Velocidad (m/s)	Tiempo de movimiento (s)	Tiempo de proceso (s)
Conveyor1	1	-	-	3	-	-
Robot1	-	0,1	-	-	1,7	-
Combiner	-	-	1	-	-	3
Conveyor3	1	-	-	0,7	-	-
Conveyor2	1	-	-	3	-	-
Robot2	-	5	-	-	1,7	-
Conveyor29	1	-	-	3	-	-
Conveyor28	1	-	-	3	-	-
Conveyor27	1	-	-	3	-	-
Conveyor26	1	-	-	3	-	-
Conveyor25	1	-	-	0,7	-	-
Robot3	-	5	-	-	1,7	-
Conveyor24	1	-	-	0,7	-	-
Separator	-	-	1	-	-	0,09
Conveyor4	1	-	-	0,035	-	-
Robot4	-	3,6	-	-	2,5	-
Conveyor23	1	-	-	8	-	-

Tabla 24. Puntos críticos análisis 2º.

Inicialmente habíamos analizado el tiempo de ciclo de la línea obteniendo un resultado de 16,51 (s/u). Tras el primer análisis hemos obtenido un valor de 12,85 (s/u). Si volvemos a realizar ese cálculo con los parámetros obtenidos del segundo análisis obtenemos lo siguiente:

$$T_c = \frac{\text{Tiempo de producción (s)}}{\text{Unidades producidas (u)}} = \frac{3600 \text{ (s)}}{356 \text{ (u)}} = 10,11 \text{ (s/u)}$$

Es decir, hemos conseguido reducir en casi un 40% el tiempo de producción para cada unidad. Lo que nos permitirá incrementar la capacidad de producción por hora.

De los datos obtenidos tras el segundo análisis podemos ver que deberíamos cambiar varios elementos a su punto crítico para obtener un aumento en la producción, sin embargo, si nos fijamos vemos que en muchos el índice de mejora que obtenemos es de pocas unidades, por lo que podríamos evitar modificarlos evitando de esta forma gastos y pérdidas de tiempo parando la cadena de producción. De modo que centrándonos en aquellos con los que obtenemos un aumento considerable solo nos interesaría modificar el robot 4, pasando de los 3,6s del primer análisis, a los 2,5s del segundo. El robot 1 lo dejaríamos con el valor de 0,1s obtenido en el primer análisis.

Por lo tanto, podemos asegurar que existen dos cuellos de botella, que son el robot 1 y robot 4, los cuales nos producen limitaciones en la producción total.

En las siguientes gráficas que añadimos como complemento al análisis y simulación realizados anteriormente podemos ver las diferencias obtenidas entre la simulación inicial y la simulación tras llevar al punto crítico los distintos cuellos de botella.

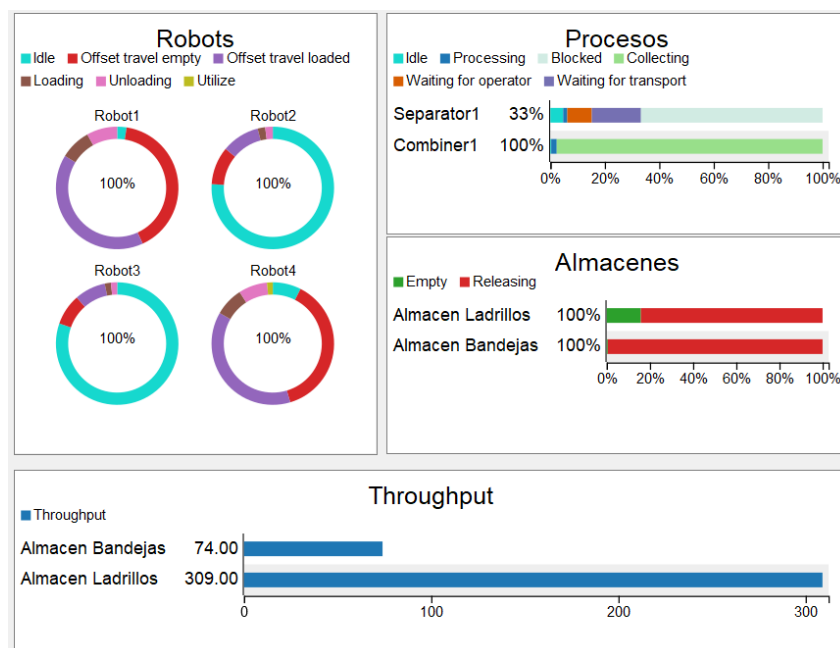


Ilustración 65. Estadísticas I. Simulación inicial.

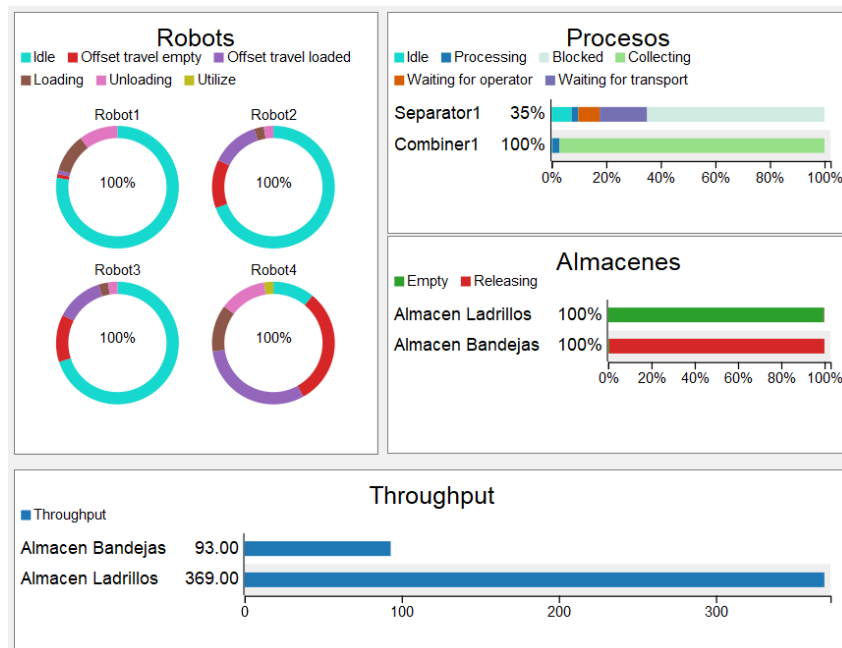


Ilustración 66. Estadísticas I. Simulación final.

En el caso de los robots, vemos como hemos conseguido disminuir esos tiempos muertos que el robot estaba esperando la llegada del producto para su traslación.

Analizando el robot 1 vemos como inicialmente el tiempo que permanece sin trabajar (idle) es muy pequeño, esto es debido a que, con la configuración inicial, se generaba una cola, de modo que para cuando movía un objeto, ya tenía esperando el siguiente en la cola. Además, al reducir el tiempo de movimiento, hemos conseguido disminuir los tiempos de offset a la vez que aumentamos la capacidad de trabajo.

En el caso de los robots 2 y 3 se mantienen con la configuración inicial, de modo que los cambios en las gráficas son causados por el aumento de la capacidad de trabajo del resto de elementos presentes en la cadena.

Para el robot 4 nos fijamos que las diferencias son inapreciables, esto es debido a algo similar a lo que ocurre en el robot 1. Se genera una cola, de modo que cuando el robot ha movido un objeto, el siguiente ya está esperando. Solo que, en este elemento, al disminuir el tiempo de movimiento estamos consiguiendo un aumento en la capacidad de producción mucho mayor.

Para los almacenes, la gran diferencia la podemos apreciar en el de ladrillos. Inicialmente, se generaba una cola debidos a los tiempos de procesamiento de los elementos presentes en la cadena, pero después de la mejora, vemos que no da tiempo a que se vayan almacenando los ladrillos.

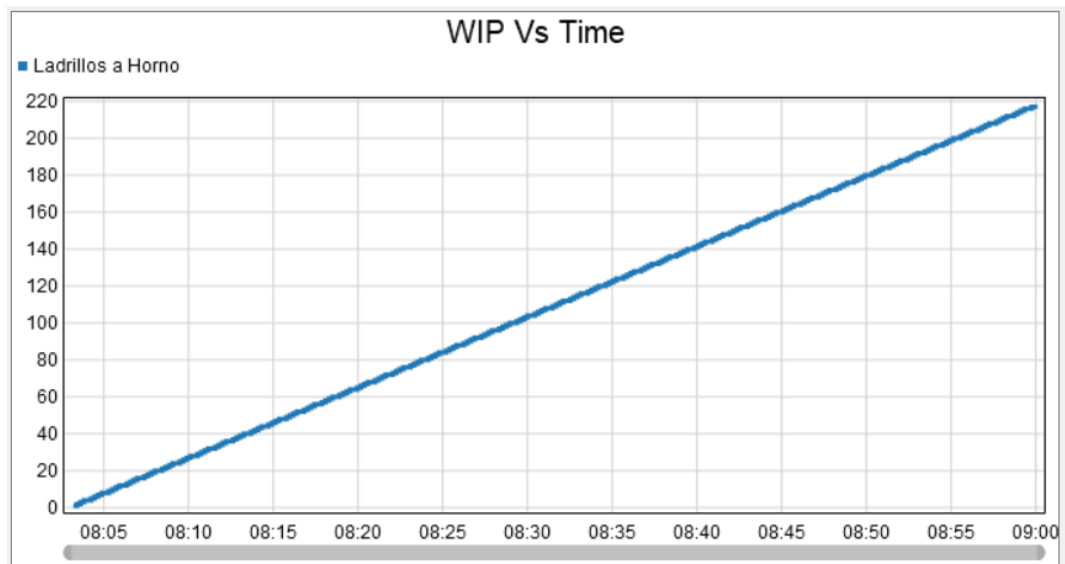


Ilustración 67. Estadísticas II. Simulación inicial.

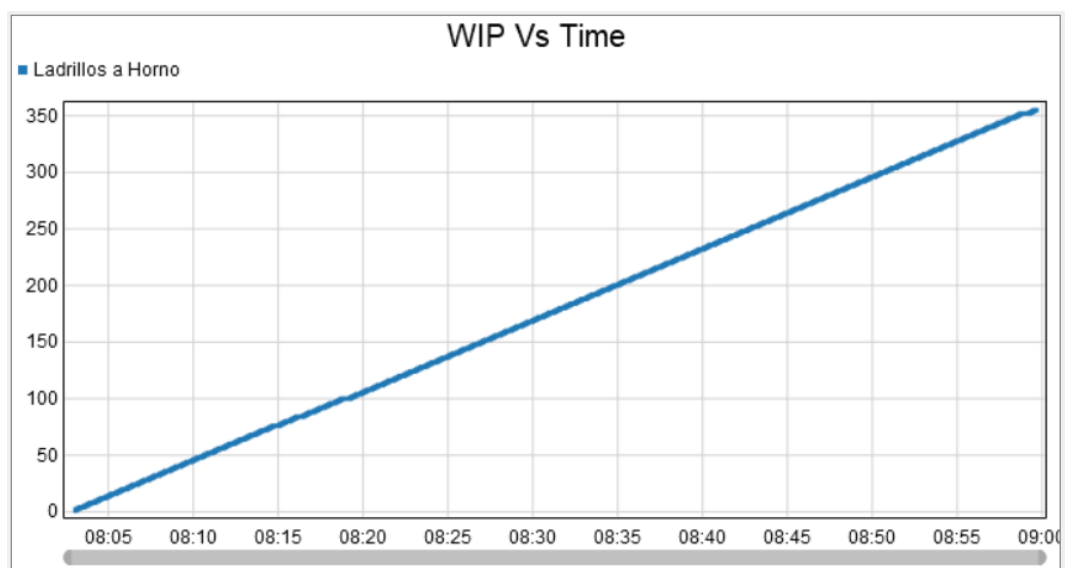


Ilustración 68. Estadísticas II. Simulación final.

En estas dos gráficas podemos ver el aumento en la capacidad de producción de la línea, de 218 u/h que conseguíamos inicialmente, a las 356 u/h que conseguimos tras obtener los puntos críticos de los cuellos de botella presentes en la cadena.

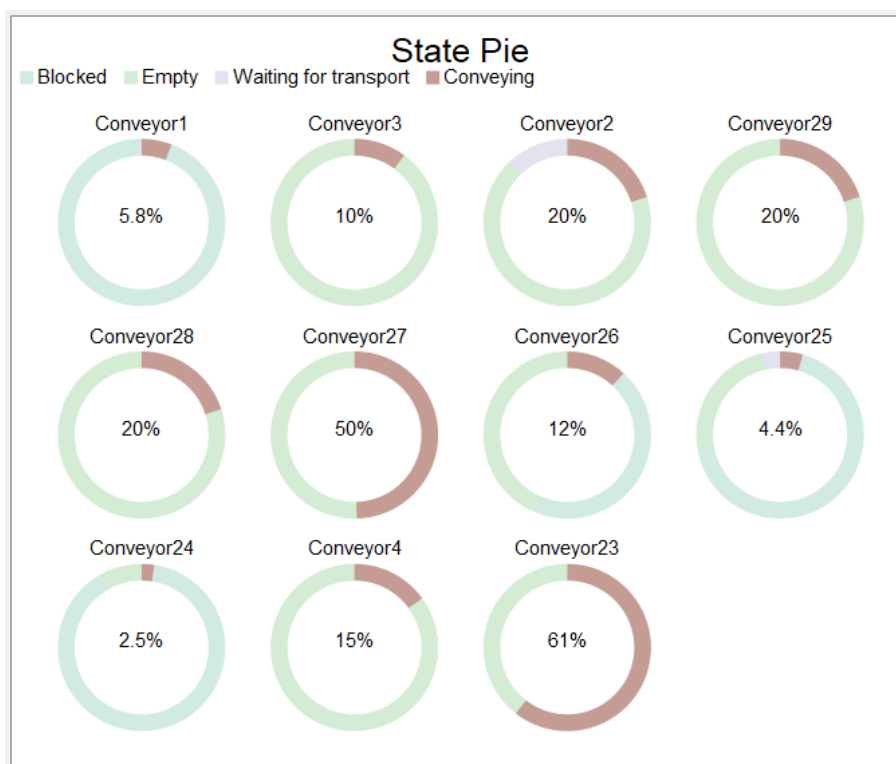


Ilustración 69. Estadísticas III. Simulación inicial.

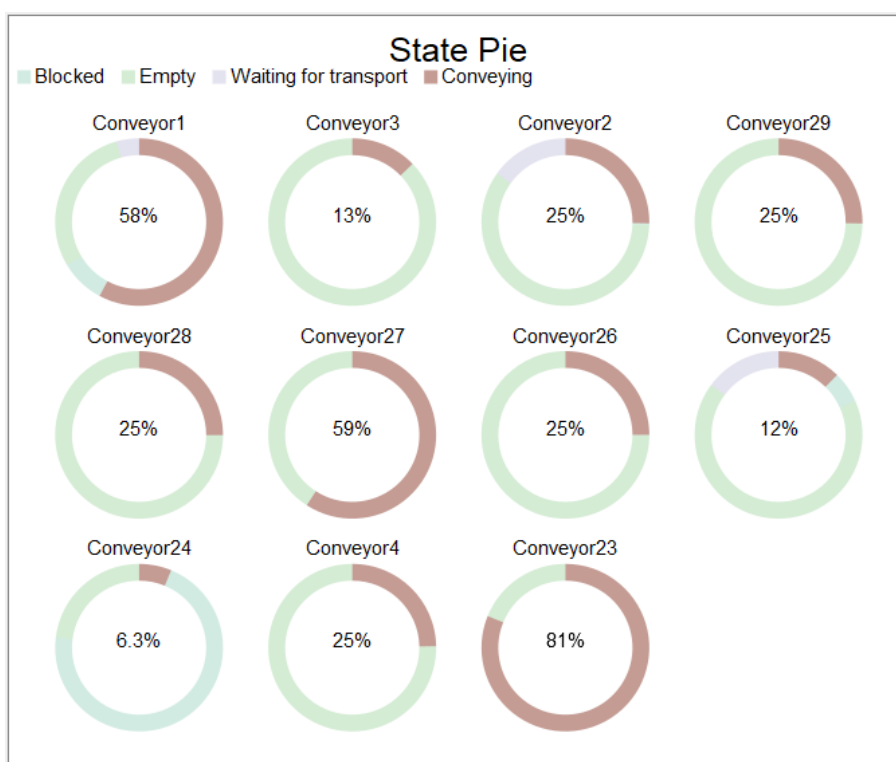


Ilustración 70. Estadísticas III. Simulación final.

En estas últimas dos gráficas vemos el tiempo que pasa cada cinta transportadora en los distintos estados. Aumentando el tiempo que pasa transportando los elementos, debido a ese aumento en la producción total.

5.7 Conclusiones

Teniendo unas nociones básicas en terminología de modelado y simulación de sistemas de producción se ha comprobado la facilidad que tiene construir un modelo con FlexSim, esto es gracias a la amplia biblioteca de objetos, versatilidad a la hora de configuración de cada uno de ellos, y sobre todo por la facilidad que supone crear un proceso con la simplicidad de arrastrar y soltar objetos, sin necesidad de saber ningún tipo de lenguaje de programación.

Además, el hecho de que crear un modelo 3D tiene grandes ventajas a la hora de entender su funcionamiento, y lo hace mucho más visual frente a un modelo 2D o mediante diversos lenguajes de programación. Como hemos visto dispone de una amplia biblioteca de objetos, tanto para la construcción del modelo como para su posterior análisis (gráficas, tablas, etc...), lo que nos ha sido de gran utilidad a la hora de analizar e identificar cuellos de botella.

Tras la realización de este trabajo se han obtenido las siguientes conclusiones:

- El hecho de poder realizar el modelo de una planta real, nos permitirá saber las respuestas de la misma ante distintos escenarios, es decir, nos permitirá anticiparnos a posibles situaciones o cambios que hagamos en el sistema, intentando mejorar su funcionamiento.
- Nos ha permitido saber cómo influyen los distintos parámetros clave en la producción, consiguiendo de esta manera facilitar la toma de decisiones para la mejora del sistema.
- Gracias a la sencillez en el aprendizaje de la interfaz de FlexSim nos permitirá construir los modelos de manera más rápida y eficaz, lo que permite reducir costes en la formación para este software.

PLIEGO DE CONDICIONES

1. INTRODUCCIÓN

El autor de este proyecto ha cursado los estudios de Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática en la Universidad de La Rioja, cumpliendo con la normativa establecida por la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial en la normativa UNE 157001.

El objeto de este Pliego de Condiciones es recoger y establecer todas las disposiciones técnicas y de utilización.

El diseño de este proyecto y sus características han sido descritos en detalle en la memoria del proyecto y sus anexos.

Las condiciones que se especifican en este documento tratan de cumplir con la calidad esperada para este proyecto. En caso de no realizarse según estas condiciones, los proyectistas no se responsabilizarán de los fallos o averías que puedan ocasionarse en su funcionamiento.

2. CONDICIONES GENERALES

Este trabajo sigue los reglamentos y normativas vigentes. Una vez terminado el proyecto se podrán realizar las modificaciones que cada cual crea convenientes, siempre bajo responsabilidad del que las realiza.

La propiedad intelectual del autor y directo del Trabajo Fin de Grado se registrará por el Real Decreto Legislativo 1/1996, de 12 de abril, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual.

3. CONDICIONES TÉCNICAS

A continuación, se detallan las condiciones técnicas que deben cumplir los materiales con los que hay que contar para llevar a cabo el proyecto.

El PC deberá tener los siguientes requerimientos mínimos para el funcionamiento adecuado de Arena, Simio y FlexSim. Los requerimientos mínimos serán los del software Flexsim que es el que más necesidades tiene, los cuales se muestran a continuación:

CPU	Cualquier moderno ¹ x86 or x64 Intel or AMD processor
RAM	4 GB de RAM
Gráficos	Any GPU that supports OpenGL 3.1 or higher: <ul style="list-style-type: none">• Nvidia GeForce 300 Series or higher• AMD Radeon R600 (HD 2xxx, HD 3xxx) Series or higher• Intel HD 2000 or higher
OS	Any Microsoft-supported Windows operating system ² . Currently Windows 7, 8.1, and 10. 32- or 64-bit
Software adicional	. NET Framework ³ (Requerido) Visual Studio ⁴ (Opcional)

4. CONDICIONES ADMINISTRATIVAS

El actual proyecto consta de los siguientes documentos:

- Un Índice General que indicará la página de comienzo de cada uno de los documentos que forman el proyecto, así como un índice de ilustraciones y tablas.
- Una Memoria donde se explicará detalladamente las propiedades de cada simulador, se verá un ejemplo en cada uno de ellos, y por último se pasará a explicar el caso de estudio de un proceso real, realizando el modelo y simulación, así como un análisis completo del mismo.
- Una serie de Planos donde se describe la distribución de la planta de producción.
- Pliego de Condiciones en el que se establecen las diferentes condiciones técnicas, económicas y administrativas para que el proyecto pueda materializarse, evitando posibles malinterpretaciones.
- Presupuesto donde se recogerá el coste de todos los elementos utilizados y la suma total que, junto a la mano de obra, dará el coste final del proyecto. Dicho presupuesto contiene la valoración económica global, desglosada y ordenada por partidas.

5. CONDICIONES FACULTATIVAS

5.1 Dirección

La dirección de aprendizaje y simulación en los diferentes softwares ha sido llevada a cabo por el ingeniero proyectista y el director de proyecto asignado.

Una vez terminado el proyecto, este podrá ser utilizado por cualquier persona con los conocimientos básicos sobre las herramientas descritas.

En caso de mal funcionamiento o pérdida de información por una utilización incorrecta de las herramientas, el ingeniero proyectista o la persona en la que haya delegado la dirección del proyecto, quedan exentas de responsabilidad.

5.2 Libro de órdenes

La instalación y montaje de los modelos que componen el proyecto se realizará atendiendo al siguiente orden de prioridad en caso de que haya alguna contradicción:

- Planos.
- Pliego de condiciones.
- Presupuesto.
- Memoria.

5.3 Modificaciones

Si fuera necesario realizar alguna modificación en el presente proyecto, deberá comunicarse con anterioridad a su realización al Ingeniero Director, quién deberá dar la correspondiente autorización.

En caso de realizarse modificaciones en las herramientas que no hayan sido previamente comunicadas y autorizadas por el ingeniero director, las consecuencias que dichos cambios puedan ocasionar serán de total responsabilidad del usuario que las realice.

Respecto a los cambios en la herramienta realizados por el propietario de la misma, no serán tratados de forma especial y, en ningún caso, quedan eximidos de la autorización del autor y del director de proyecto.

MEDICIONES

C01: Materiales		
C01.1	Software Arena	1u
C01.2	Software FlexSim	1u
C01.3	Software Simio	1u
C01.4	PC	1u

C02: Mano de obra		
C02.1	Horas de investigación y optimización	85h
C02.2	Horas de diseño	200h
C02.3	Horas de documentación	53h

PRESUPUESTO

Listado de precios unitarios

C01: Materiales			
C01.1	Software Arena	1u	LICENCIA GRATUITA
C01.2	Software FlexSim	1u	LICENCIA GRATUITA
C01.3	Software Simio	1u	LICENCIA GRATUITA
C01.4	PC	1u	500 €

C02: Mano de obra			
C02.1	Horas de investigación	1h	23 €
C02.2	Horas de diseño y simulación	1h	23 €
C02.3	Horas de documentación	1h	23 €

Listado de precios descompuestos

C01: Materiales		Cantidad	Precio	Subtotal
C01.1	Software Arena	1u	LICENCIA GRATUITA	
C01.2	Software Simio	1u	LICENCIA GRATUITA	
C01.3	Software FlexSim	1u	LICENCIA GRATUITA	
C01.4	PC	1u	900 €	900 €

TOTAL DEL CAPÍTULO.....900,00 €

El total del capítulo asciende a NOVECIENTOS EUROS con CERO CÉNTIMOS.

C02: Mano de obra		Cantidad	Precio	Subtotal
C02.1	Horas de investigación	85h	23 €	1955 €
C02.2	Horas de diseño y simulación	200h	23 €	4600 €
C02.3	Horas de documentación	53h	23 €	1219 €

TOTAL DEL CAPÍTULO.....7774,00 €

El total del capítulo asciende a SIETE MIL SETECIENTOS SETENTA Y CUATRO EUROS con CERO CÉNTIMOS.

Resumen del presupuesto

Capítulo resumen		Subtotal
Capítulo 1	Materiales	900 €
Capítulo 2	Mano de obra	7774 €

TOTAL DEL PRESUPUESTO.....8674,00 €

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de OCHO MIL SEISCIENTOS SETENTA Y CUATRO EUROS con CERO CÉNTIMOS.

El presente presupuesto se ha redactado en base a precios de Junio de 2019, no se incluyen descuentos por volúmenes de compra.

FIRMADO:

D. Diego Ruiz Marín.

Logroño a 23 de Mayo de 2019

BIBLIOGRAFÍA

- [1] *La simulación por ordenador*. Recuperado de <https://www.fib.upc.edu/retro-informatica/avui/simulacio.html>
- [2] Félez Blasco, A. (2014). *Modelización y simulación con SIMIO de procesos industriales y logísticos* (Proyecto Fin de Carrera). Recuperado de <http://zaguan.unizar.es/record/13409/files/TAZ-PFC-2014-057.pdf>
- [3] Martínez Carrasco, C. (2015). *Estudio comparativo de diferentes modelos de simulación de producción con “Simio” y “Arena”* (Proyecto Fin de Carrera). Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/78179/Memoria%20PFC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [4] García Sánchez, A. y Ortega Mier, M. (2006). *Introducción a la simulación de sistemas discretos* (pp. 2-9). Recuperado de http://www.iol.etsii.upm.es/arch/intro_simulacion.pdf
- [5] *Tipos de simulación*. Recuperado de <https://iupsmsimulacion.wordpress.com/tipos-de-simulacion/>
- [6] Rincón Gracia, G. (2018). *Diseño y desarrollo de un software de modelado y simulación de procesos industriales con interfaz de usuario amigable*. Recuperado de http://oa.upm.es/49660/1/TFG_GUILLERMO_RINCON_GRACIA.pdf
- [7] *Etapas de la Simulación* (Marzo 2019). Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Simulaci%C3%B3n>
- [8] *La simulación de procesos en la fábrica inteligente 4.0* (2017). Recuperado de <https://principia.es/simulacion-procesos-fabricacion/>
- [9] *Simulación de procesos*. Recuperado de <http://simergia.com/simulacion-de-procesos/>
- [10] *Ventajas y Desventajas de la Simulación por Computadora* (Abril 2013). Recuperado de <http://upolisimulacioncompkrenvasq.blogspot.com/2013/04/ventajas-y-desventajas-de-la-simulacion.html>

- [11] Arconada del Corte, I. (2015). *Modelización y definición de estrategias de mejora de un sistema de transporte AGV*. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/61554403.pdf>
- [12] Mynor Miranda (2015). *Ejemplo de Simulación en Arena*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=XpvMTka7Lto>
- [13] Alejandro Hdez. *Manual de usuario del software Arena*. Recuperado de https://www.academia.edu/14837601/MANUAL_DE_USUARIO_DEL_SOFTWARE_ARENA
- [14] *Introducción a la Simulación con Arena*. Recuperado de <https://www2.infor.uva.es/~migumar2/lsim0910/arena.pdf>
- [15] Baesler, F. (2013). *Clase simulación Universidad del Desarrollo: Taller 1*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=r-VeWcWPhps>
- [16] Comparación características de Arena vs Simio vs FlexSim. Recuperado de <https://www.capterra.com/simulation-software/compare/144460-107009-110473/Arena-vs-FlexSim-vs-Simio>
- [17] *User Manual*, FlexSim 2017 Update 1. Recuperado de <https://answers.flexsim.com/storage/attachments/6788-flexsim-1710-manual-arial.pdf>
- [18] Simón-Marmolejo, Isaías, Santana-Robles, Francisca, Granillo-Macías, Rafael, Piedra-Mayorga, Víctor Manuel, *La simulación con FlexSim, una fuente alternativa para la toma de decisiones en las operaciones de un sistema híbrido*. Científica [en línea] 2013, 17 (Enero-Marzo) Recuperado de: <https://www.redalyc.org/html/614/61428315005/>
- [19] Marquez Avila Jacob, Ceron Marines Gabriel. *FlexSim. Estado de los objetos* (2010). Recuperado de <https://es.slideshare.net/jmasini/estados-posibles-de-los-objetos-discretos-en-flexsim-4578264>
- [20] Ruiz, D. *FlexSim. Software de simulación* (2016). Recuperado de <https://prezi.com/hvgh5cuq4sdb/flexsim/>
- [21] López Hernández, S. *Modelado y simulación en Arena de sistemas de procesos continuos* (2016). Recuperado de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/19604/1/TFG-I-523.pdf>